

資料-6

D-Box 設計/施工/品質管理/維持管理

マニュアル

2018年10月

メトリー技術研究所株式会社
パシフィックコンサルタンツ株式会社

目 次

はじめに	1
1. 鉄道軌道に用いる D-BOX のマニュアル適用範囲	1-1
1.1 対象地盤	1-1
1.2 基本断面	1-5
2. D-Box の性能 (ミャンマー製 LS-100M)	2-1
2.1 D-Box 本体の仕様および仕様材料	2-1
2.2 中詰め材料の規定	2-1
2.3 耐久性	2-2
2.4 摩擦係数	2-3
2.5 透水係数	2-3
2.6 振動低減効果	2-3
2.7 支持力増大効果	2-5
3. 設計マニュアル	3-1
3.1 設計の考え方	3-1
3.2 設計条件	3-1
3.3 対象となる路床の原地盤強度 (せん断強度) の確認方法	3-2
3.4 D-Box を使用した場合の対象原地盤の強度及び沈下量の算出方法	3-4
3.5 D-Box 基礎の支持力の算出方法	3-5
4. 施工マニュアル	4-1
4.1 施工の基本フロー	4-1
4.2 施工対象工事	4-2
4.3 D-Box 製作方法	4-11
4.4 軌道面下 D-Box 敷設方法 (バックホウ使用時)	4-22
4.5 重機が無い場合の軌道底面への D-Box 敷設工法 (手作業)	4-31
5. 軌道部の品質管理マニュアル	5-1
5.1 品質管理	5-1
5.2 写真撮影管理	5-5
6. 維持管理マニュアル	6-1
6.1 引渡時の注意	6-1
6.2 D-Box の維持管理	6-2
7. その他	7-1
7.1 軌道の沈下観測	7-1
7.2 載荷試験の沈下観測	7-4
7.3 平板載荷試験結果	7-10
7.4 斜面補強 (D-Box Dam at the Edge of slope)	7-13
7.5 設計計算例【載荷幅及び基礎地盤支持力を変更した場合の支持力計算のケーススタディ】	7-19

はじめに

本マニュアルの適用範囲について

D-Box はメトリー技術研究所株式会社（以下 Metry）の野本社長により発明された製品で、軟弱地盤の補強対策、液状化対策、噴泥対策および振動対策に利用され、近年簡単に施工でき、環境に易しい工法として日本で広まりつつある。

JICA による中小企業支援事業の一つとして、この技術を広く世界に発信するため、Metry と Pacific Consultants は、D-Box を用いた実証実験場所の提供者をミャンマーにて募ることとした。

その結果、ミャンマー国の数か所からの機関からの提案のうち、もっとも困難と思われる実証事業の場所として Myanma Railways から依頼のあった、エーヤワディ地域の Ainme ⇄ Pathein 間の Chaungphyar Bridge 付近の鉄道工事を、実証事業場所として選定した（写真-1）。

本マニュアルは、上記に示す経緯により、D-Box を用いた噴泥対策と地盤補強対策を中心とした実証事業の結果に基づき作成したものであり、鉄道軌道に対する本設計/施工マニュアルの適用範囲は表-1 に示すとおりである。噴泥対策の効果確認、軟弱地盤に対する地盤支持力の増加算定式（門田の提案式）による地盤支持力算定、振動低減、軌道の天端高観測による沈下抑制効果を示している。

なお、D-Box を用いた実証事業による軟弱地盤に対する鉄道軌道の補強工事は 2017 年 1 月～4 月の約 2.5 ヶ月間で延長 360m の改良を行なったものである。



CH300→CH220



CH560→CH300

写真-1 Chaungphyar Bridge 付近の鉄道の状況（D-Box 設置前：2016 年 8 月）

D-Box を用いた鉄道軌道に対する本設計/施工マニュアルの適用範囲

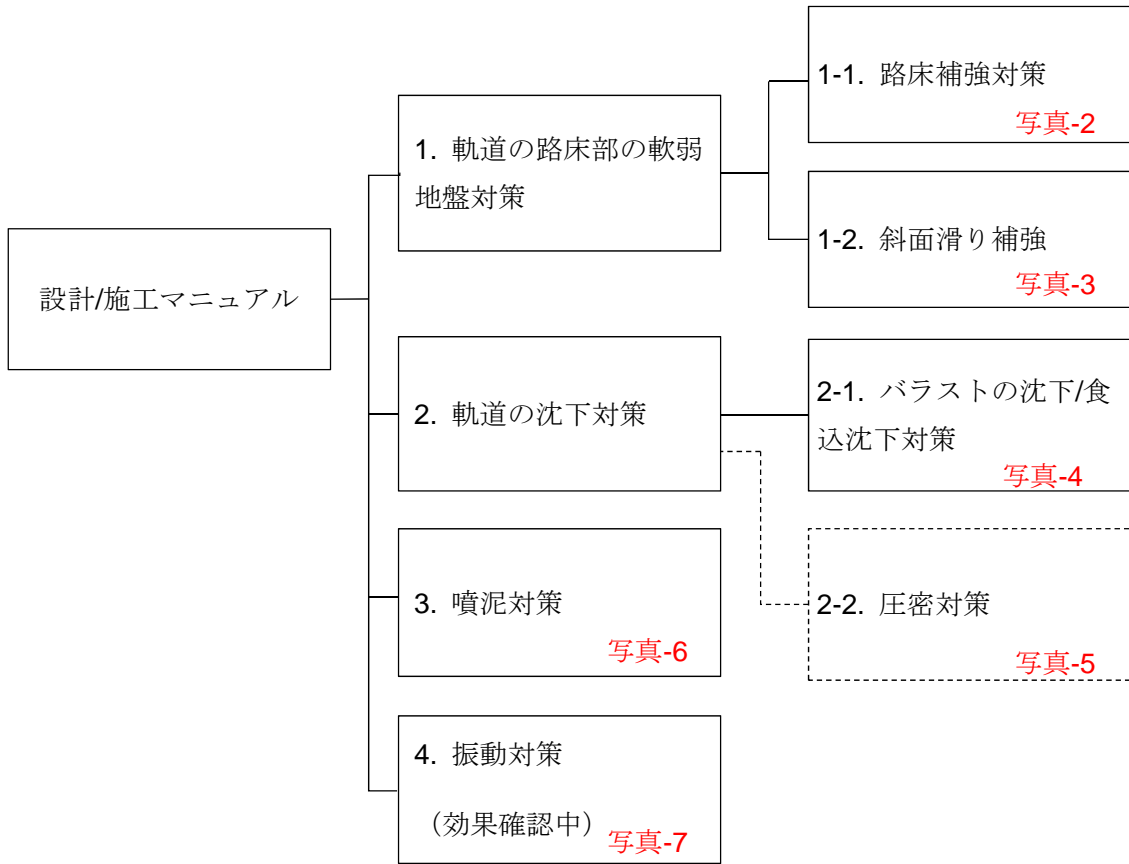


表-1 本マニュアルによる適用範囲 (MR での D-Box の使用場所と施工性)

D-Box使用場所	内訳	既存盛土部	新設盛土	既存平地	新設平地	説明	説明イメージ
1. 軟弱地盤対策	1) 地盤補強	○	○	○	○	平板載荷試験およびFEM解析により提案した門田式により、D-Boxを用いた場合の極限地盤支持力と変位量の算出が可能	写真-2
	2) 斜面すべり対策	△	○	-	-	1) 既往盛土部は、D-Box Damによる効果検証中(2018年の雨季の期間の状況を見て判断する) 2) 新設の盛土については、上記の支持力算定式を用いてD-Boxを盛土底面に設置することによりすべり対策可能	写真-3
2. 鉄道軌道の沈下対策	1) パラストの沈下、食い込みによる沈下対策	○	○	○	○	1年間のrailの天端高の沈下計測結果では、線路の沈下は3cm以内であり保線作業を定期的に行なうことにより、列車走行に問題は無いことを確認(一部13cmの沈下箇所があったが、既往盛土形成時の転圧不足等による沈下と想定される)。	写真-4
	2) 盛土部の圧密沈下対策	×	×	-	-	良質な地盤であったことから、圧密沈下抑制効果についてはLoad Test 結果では認められなかった。	写真-5
3. 噴泥対策		◎	◎	◎	◎	実証事業により噴泥の発生が無いことを確認(日本の鉄道JR西日本でも実績あり)	写真-6
4. 振動対策		○	○	○	○	現場測定により振動低減効果を確認中である。	写真-7
5. D-Boxの製作		○	○	○	○	ミャンマー製のD-Boxの製作は80袋/日 D-Boxは\$20/袋であり、一個当りの製作費は中詰め砂を含め約33,000MMK/個	写真-8
6. D-Boxの施工	1) D-Boxの中詰(砂)による経済性 12m/日	○	○	○	○	Chaugphyar siteの実績 192,000/m(D-Box4列) D-Box1個あたりのChaugphyar siteでの工事費 48,000MMK/bag	写真-9
	2) 手作業によるD-Box設置工法 (1日4m)	○	○	○	○	中詰め砂を含め1m当りの工事費約 34,000MMK/m (D-Box2列配置:軌道のパラストはMR支給)	写真-10



写真-2 平板載荷試験状況（この結果に基き極限支持力の算定式を提案）



写真-3 斜面すべり対策（D-Box Dam 工法による）



写真-4 バラスト沈下による鉄道軌道部の沈下
 (1年間の観測結果より沈下は1~3cm程度)



写真-5 圧密沈下計測 (地盤が良質であり1年間の計測結果ではD-Boxによる圧密抑制効果は検証できなかった)



(2016年8月)



(2017年9月)

写真-6 噴泥対策 (1年間の設置後の噴泥現象等は無いことを確認)

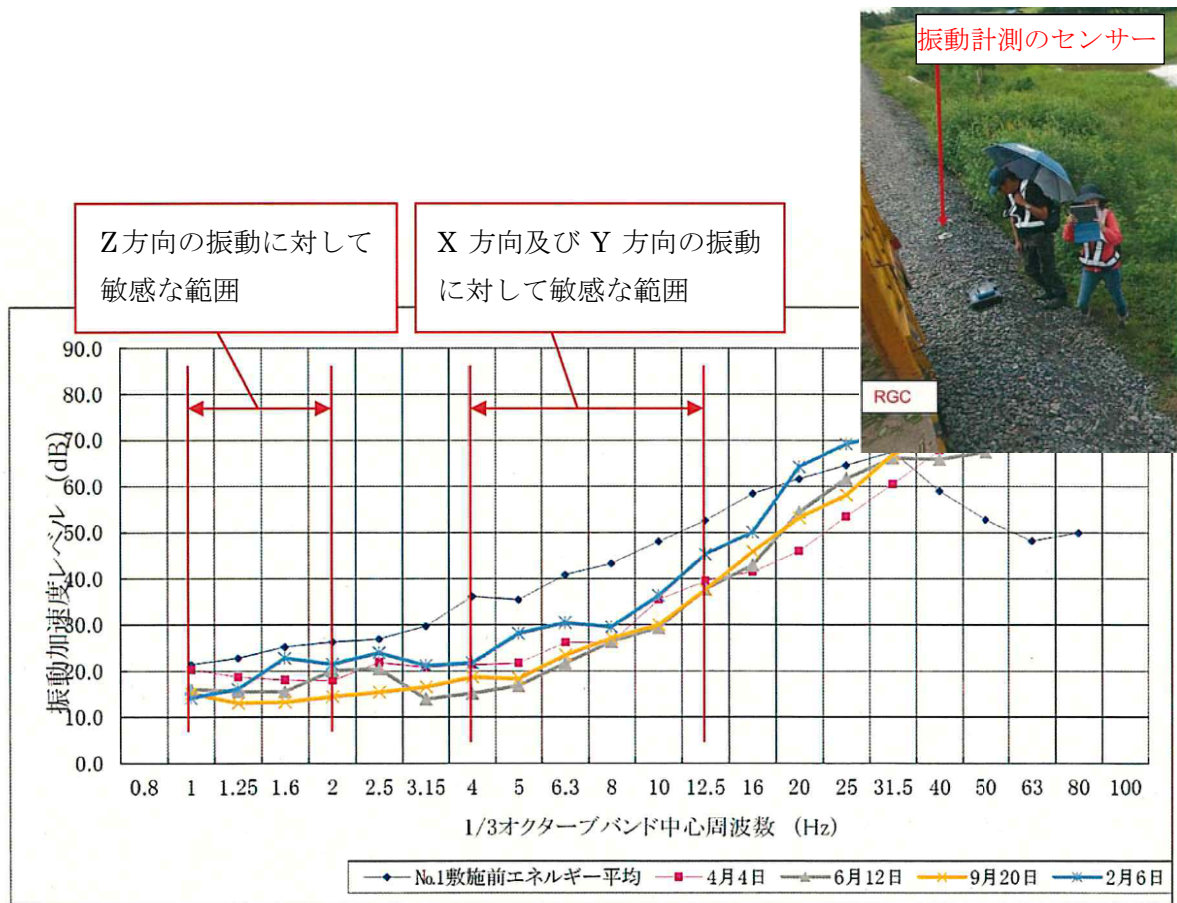


写真-7 振動試験効果の確認







Formwork	Set the D-Box (bag) into the Formwork	After filling	Closing & Lifting
			
<ul style="list-style-type: none"> ● Set the Formwork onto leveled ground. 	<ul style="list-style-type: none"> ● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork. ● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag. ● Level the top of the filling material by hand or by shovel. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Close the closing band not to cause opening. ● The lifting band is doubled structure. Be sure to set hook to doubled lifting band.

写真-8 D-Box の製作 (中詰 砂 : 日本製 120 個/日、ミャンマー製 80 個/日)

	
<p>軌道部の取り外し</p>	<p>路床整地/ 転圧</p>
	
<p>D-Box 敷設/ 強制加圧/ 転圧</p>	<p>軌道仮置ジャッキアップ</p>
	
<p>バラスト投入</p>	<p>軌道調整/ 締固め (タンパー)</p>
	
<p>締固め (ランマー)</p>	<p>検査</p>

写真-9 D-Box の施工 (1 日 12m : D-Box4 列配置 工事費 192,000MMK/m)





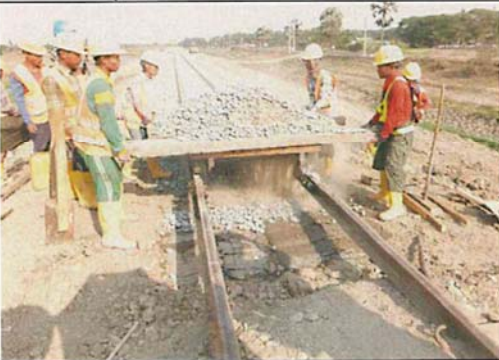

	
<p>枕木撤去/ 掘削</p>	<p>現場 D-Box 製作 (中詰材: 発生土)</p>
	
<p>D-Box 設置完了</p>	<p>人力による転圧</p>
	
<p>バラスト投入</p>	<p>完成 (赤枠部が人力による施工後の状況)</p>

写真-10 手作業による D-Box の設置 (4m/日施工可能: D-Box2 列設置: 施工費 34,000MMK/m)

1. 鉄道軌道に用いる D-Box のマニュアル適用範囲

1.1 適用対象地盤

(1) D-Box が使用可能な対象地盤

本マニュアルでの D-Box が適用対象とする構造物は鉄道の基盤となる、軌道路床であり、土質は軟弱な粘性土を対象とする。なお、乾季に D-Box を設置する際には、対象地盤は十分に水分を含み D-Box の変形に追従する形状を確保できるまで散水する必要がある。

表 1.1-1 D-Box が適用対象とする構造物および条件

適用対象とする構造物	地盤条件	土質	せん断強度	備考
鉄道の基盤となる、軌道路床	軟弱地盤	粘土あるいはシルト	1) $\tau \geq 5\text{kN/m}^2$ N 値 $e \geq 0$	乾燥した地盤の場合には D-Box 設置前に散水を十分行なうこと



軟弱地盤

D-Box の敷設が直接可能



固い地盤（乾季）

D-Box 敷設前に散水が必要

図 1.1-1 D-Box 敷設前の地盤状況

(2) 実証事業の現場状況

本マニュアル作成に先立ち軌道へのD-Box設置による実証事業を行なう前のChaungphyar site near Ainmeの雨季(2016年8月)の状況と、D-Boxを設置した後の軌道の状況は図1-1-2に示す通りであり、その後の噴泥および沈下は発生していない。



D-Box 敷設前の雨季の現場状況 (Chaungphyar Site、2016年8月撮影)



2017年1月

2017年2月

2017年4月



2018年2月

図 1.1-2 D-Box 敷設前、敷設後の現場状況 (Chaungphyar Site)

(3) D-Box 設置実証事業地区の土質状況

D-Box を設置した Chaungphyar Site 及び平板載荷試験を行なった Daunggyi Station の位置図と土質状況は、図 1.1-3～1.1-5 及び表 1.1-2 に示すように、表層面の CLAY-1 は雨季が終わった（10 月）後の 11 月末の計測結果であり、含水比（water content）40%、N 値も 4 程度の強固な地盤である。しかし雨季には図 1.1-2 に示すように軟弱地盤となり、CLAY-2 は含水比も高く N 値も 0 に近い軟弱地盤である。

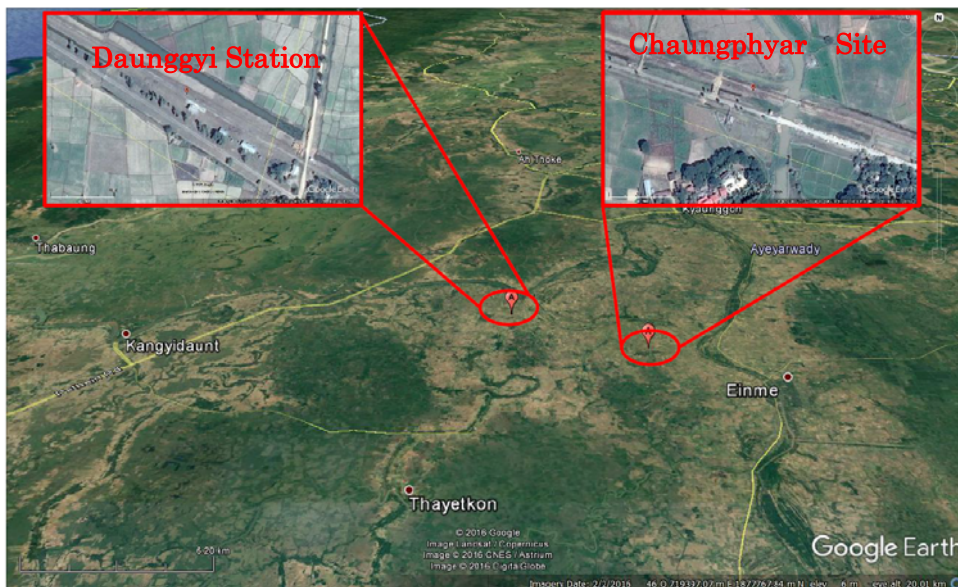


図 1.1-3 Chaungphyar Site 及び Daunggyi Station の位置図 (By Google Earth)

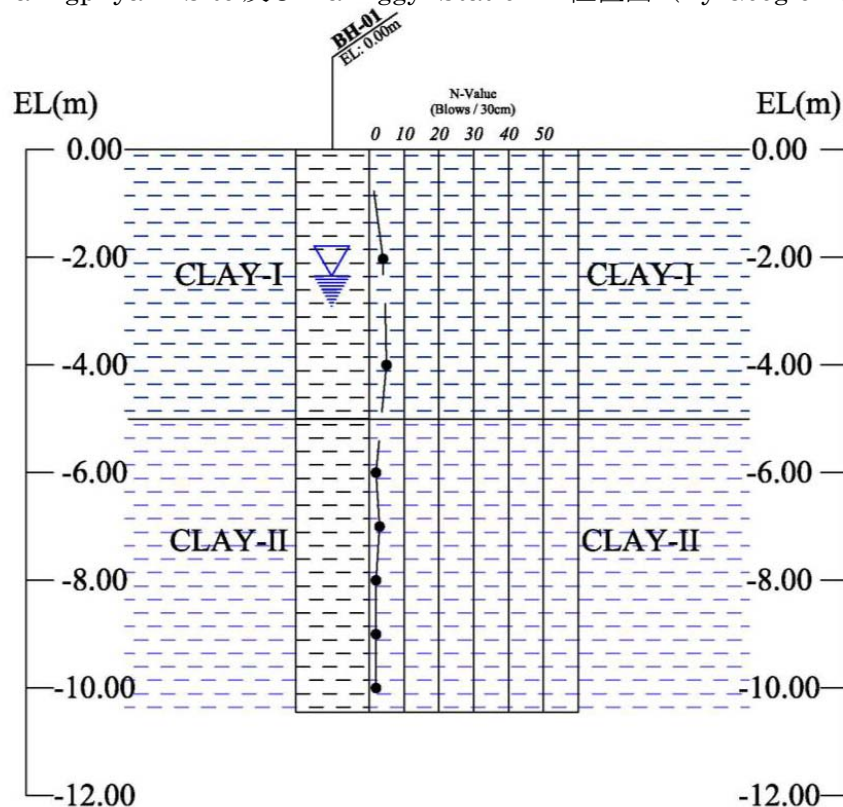


図 1.1-4 現場の土質状況 Chaungphyar Site (BH-01)

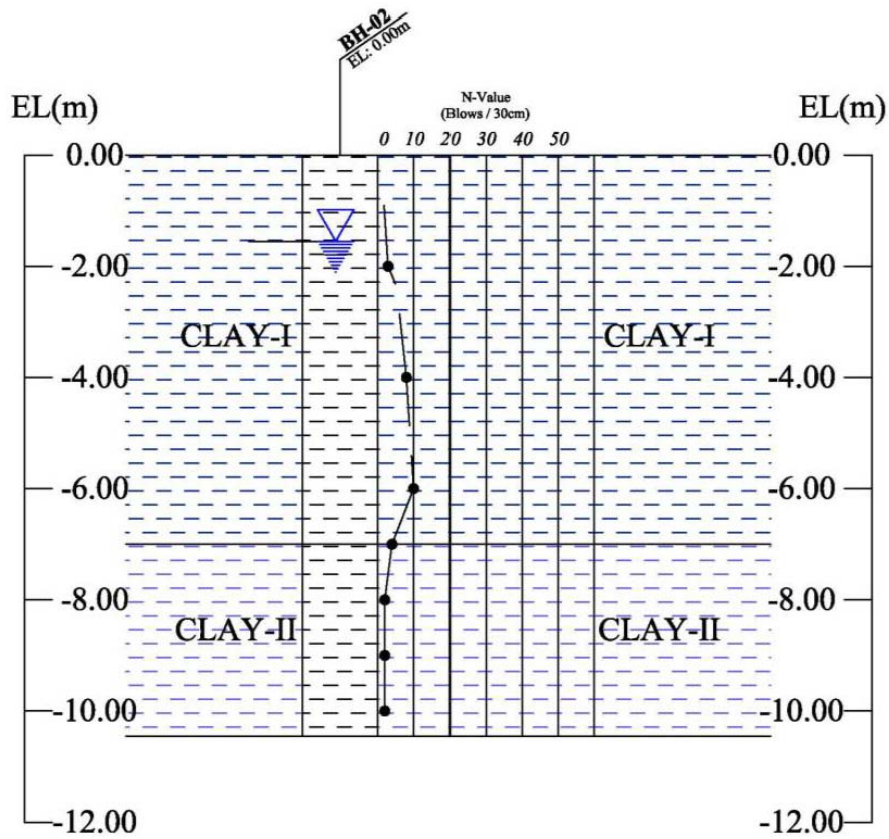


図 1.1-5 現場の土質状況 Daunggyi Station (BH-02)

表 1.1-2 BH-01 及び BH-02 の土質状況

BH No.	Sample No.	Depth		Soil Types	Water Content W (%)	Specific Gravity Gs	Grain Size Distribution				Atterberg Limits			
		GL - (m)	EL; (m)				Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
BH-01	T-1	0.50	8.25	CH	39.34	2.715	-	0.83	52.08	47.10	83.18	30.80	52.38	CLAY-1
	P-1	2.00	-2.00	MH	36.85	2.674	-	1.05	33.95	65.00	73.78	36.08	37.70	
	T-2	2.50	-2.50	CH	39.71	2.682	-	1.00	44.20	54.80	81.45	35.30	46.15	
	P-2	4.00	-4.00	CH	39.07	2.710	-	0.47	61.43	38.10	90.92	34.58	56.34	CLAY-2
	T-3	5.00	-5.00	MH	108.53	2.517	-	5.80	57.00	37.20	86.37	43.56	42.81	
	P-3	6.00	-6.00	MH	87.17	2.482	-	2.95	53.05	44.00	73.80	42.22	31.58	
	P-4	7.00	-7.00	F	62.04	2.599	-	1.70	36.20	62.10	-	-	-	
P-5	8.00	-8.00	MH	67.63	2.594	-	0.97	27.03	72.00	71.15	35.17	35.98		
P-6	9.00	-9.00	F	58.67	2.661	-	0.38	25.73	73.90	-	-	-		
P-7	10.00	-10.00	F	67.22	2.612	-	0.83	21.28	77.90	-	-	-		
BH-02	T-1	0.50	-0.50	CH	33.36	2.670	-	0.67	65.43	33.90	75.10	29.82	45.28	CLAY-1
	P-1	2.00	-2.00	F	32.15	2.682	-	2.00	56.20	41.80	-	-	-	
	T-2	2.50	-2.50	CH	30.54	2.686	-	1.12	67.08	31.80	62.40	26.05	36.35	
	P-2	4.00	-4.00	CH	28.57	2.659	-	1.36	72.74	25.90	64.37	26.36	38.01	CLAY-2
	T-3	5.00	-5.00	CH	28.42	2.692	-	0.67	67.33	32.00	63.30	30.13	33.17	
	P-3	6.00	-6.00	CH	31.41	2.582	-	0.20	52.80	47.00	72.45	27.34	45.11	
	P-4	7.00	-7.00	CH	39.49	2.638	-	3.53	53.68	42.80	59.68	28.34	31.34	
P-5	8.00	-8.00	F	51.35	2.642	-	0.35	52.65	47.00	-	-	-		
P-6	9.00	-9.00	F	51.45	2.641	-	5.72	47.08	47.20	-	-	-		
P-7	10.00	-10.00	F	60.34	2.663	-	1.05	45.05	53.90	-	-	-		

1.2 D-BOX の基本断面

本マニュアルの対象範囲は図 1.2-1 の赤色のドットラインの範囲とする。

D-Box の基本断面は以下に示す形状が望ましいが、現場状況により技術者の判断で変更可能である。

- ① D-Box（1 段 3 袋）を盛土部に埋設
- ② D-Box と枕木の間隔は 150mm とする（バラストのサイズの 3 倍を確保）
- ③ 盛土の幅は 4.8m とする（2.4m×2）
- ④ 路肩の基本幅は 400mm であるが、最低 350mm 以上を確保すること
- ⑤ D-Box は排水機能が高いため、別途排水設備を導入する必要はない

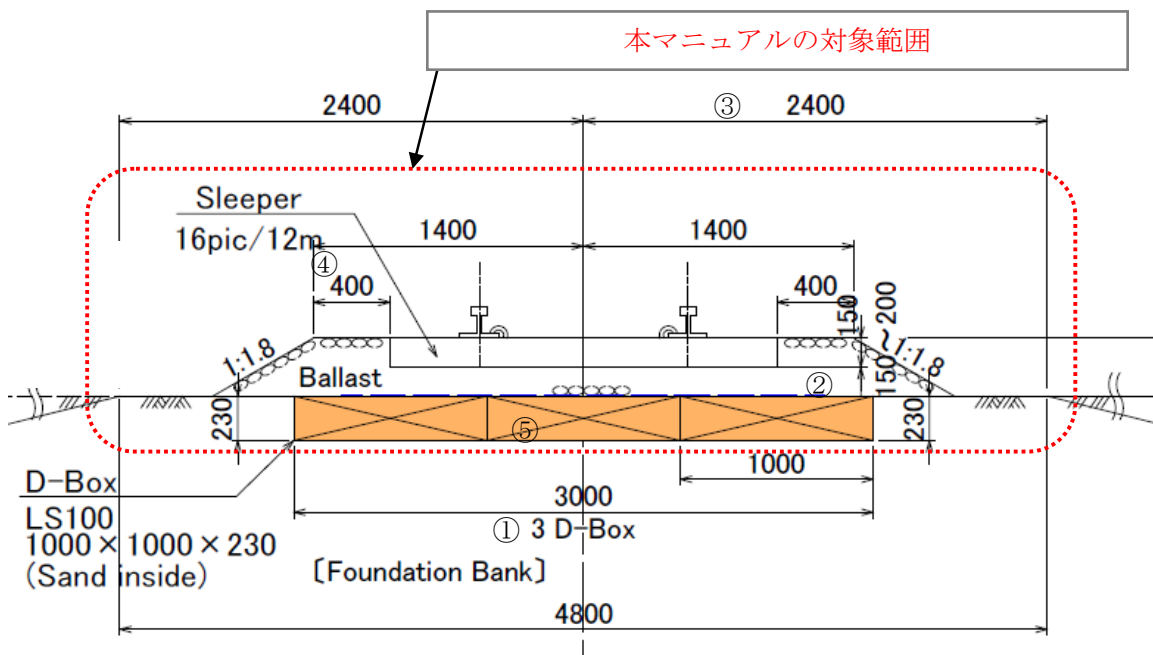


図 1-2-1 本マニュアルの対象範囲

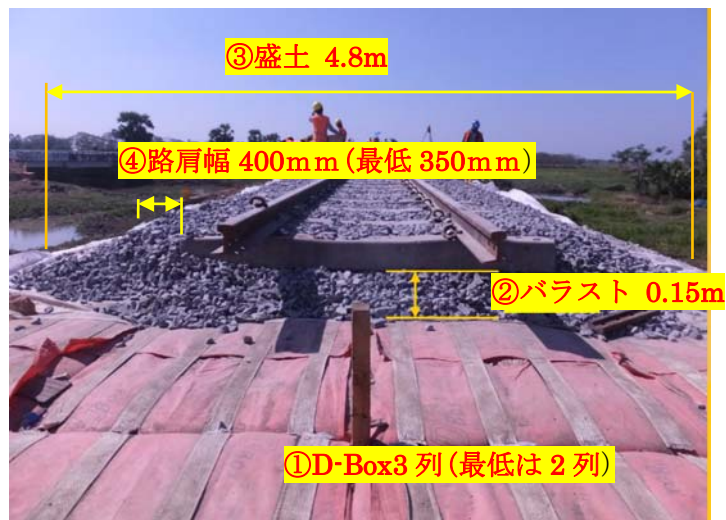


図 1-2-2 D-Box の基本断面

2. D-Box の性能(ミャンマー製 LS-100M)

2.1 D-Box 本体の仕様および仕様材料

表 2.1-1 D-Box の仕様

項目	内部拘束式土のう (D-Box)				
仕様	製品名	D-Box LS-100M (ミャンマー製)		D-Box LS-100 (日本製)	
	サイズ (mm)	縦 1,000×横 1,000×高 250		縦 1,500×横 1,500×高 450	
	内部容量 (m ³)	0.25 m ³		1.0 m ³	
	製品特性	縦方向	横方向	製品材質	中詰め材
	張力 (N/5cm)	1,800 以上 (1,600)	1,800 以上 (1,600)	ポリプロピレン	砕石 (C40 未 満)、砂
	延性 (%)	18%未満	18%未満		

注記：張力試験の試験速度は 20cm/分

2.2 中詰め材料の規定

D-Box の中詰め材は砂または、砕石を使用することを基本とする。

- 軌道部のバラストの最大粒径が 50mm 以下の場合であればバラストを使用しても良い。
- また、現場の応急復旧が必要で手作業による施工時 (4.5 章参照) で、砂または砕石が無く砕石分が多い場合のみ現地発生土を使用してもよい。



図 2-2-1 D-Box への中詰め作業 (砂)

2.3 耐久性

ミャンマーにおける D-Box の 1 年間の劣化試験結果は、表 2.3-1 に示すように、日本製の D-Box は、引張強度の残存率は、70%~90%であるのに対し、ミャンマー製の D-Box は、60%弱である。

試験日:2018.3.22(資料採取日:2017.4月8日)

試験方法:JIS L 1096-8.14.1 A 法に準用

試験体:幅 5 cm つかみ間隔 20 cm

引張スピード:20 cm/min

表 2.3-1 D-Box の劣化試験結果

D BOX 種類		未使用品N/5cm		KN/m	12ヵ月使用済N/5cm		残存率	KN/m	備考
日本製 オレンジ	縦	1800	(基準値)	36	1655	(実測値)	91.9%	33.1	図3.5-9より 載荷重 800KN/m ² 時の最大 発生張力は 20KN/m である。
	横	1800	(基準値)	36	1329	(実測値)	73.8%	26.6	
ミャンマー製 黒	縦	1600	(実測値)	32	949	(実測値)	59.3%	19	
	横	1600	(実測値)	32	921	(実測値)	57.6%	18.4	

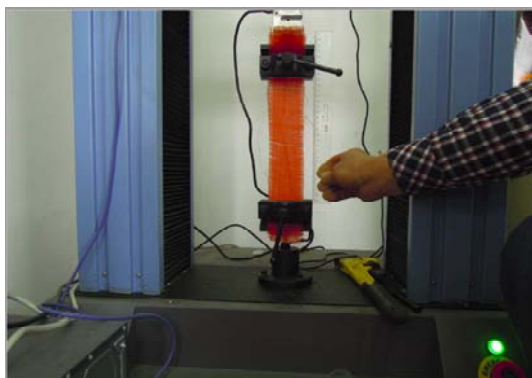


写真 2.3-1 引張試験 (日本製 D-Box)



写真 2.3-2 引張試験 (ミャンマー製 D-Box)

2.4 摩擦係数

表 2.4-1 D-Box の摩擦係数

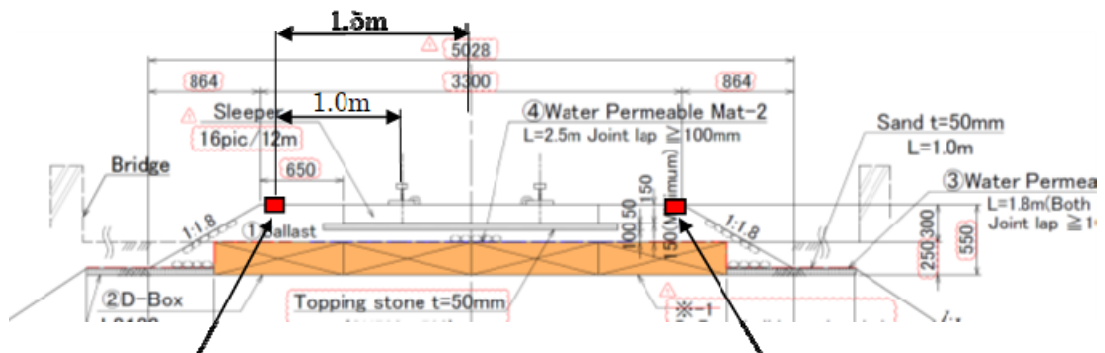
対象	中詰材が砂の場合の μ	中詰材が碎石の場合の μ
盛土部と D-Box	0.6	0.6
D-Box と D-Box	0.4	0.56
D-Box と粘土	-	0.4

2.5 透水係数

透水係数： 5×10^{-4} cm/秒

2.6 振動低減効果

D-Box による振動低減効果を実証するため、D-Box 設置前と設置後の振動計測を軌道車 (Rail Gang Car: RGC) を時速約 30km/hr で走行させ、3ヶ所 (CH 220, CH300 及び CH340) で振動計測を行なった (詳細は 4.2-4 章参照)。なお、計測は、進行方向横振動 X、進行直角方向横振動 Y、進行方向縦振動：Z の計測を行なった。

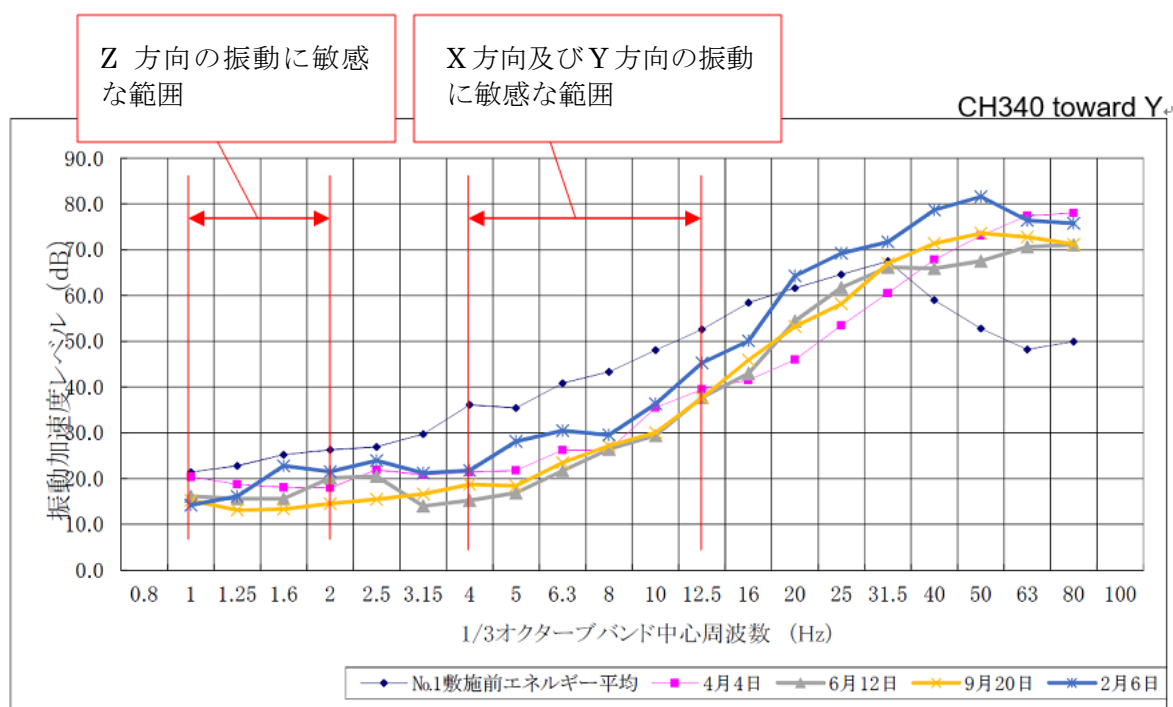


コンクリートブロック (CH240 及び 340) コンクリートブロック (CH300)
約 150×150×150mm

図 2.6-1 振動試験 センサー設置位置



写真 2.6-1 振動試験実施状況



Vertical line: Vibration acceleration level (dB) ←

Horizontal line: Center frequencies of 1/3 octave bands (Hz) ←

◆ : Average energy before D-Box Installation (No.1) ←

■ : Apr. 4, 2017 ▲ : Jun. 12, 2017 ✕ : Sep. 20, 2017 * : Feb. 6, 2018 ←

図 2.6-2 振動計測結果比較図 (5 回実施 : 軌道直角方向の振動計測結果)

2.7 支持力増大効果

“D-Box がある場合”、“D-Box がない場合”の平板载荷試験を D-Box LS-100 を用い Daunggyi Station で実施した結果（荷重と沈下量の関係：P-S 曲線）を図 2.7-1 に示す。

载荷圧力の加圧が困難となる荷重を極限支持力と判定する方法によれば、この図より、“D-Box がある場合”、“D-Box がない場合”よりも明らかに極限支持力が増大している。

また、D-Box がある場合でも、D-Box を埋め込むことにより、さらに極限支持力が増大する結果となっている。

K ₃₀ 試験のケース			K ₃₀ (kN/m ²)
ケース	地盤状況	D-Box の中詰材	
K-1	原地盤	-	84.88
K-2	砂 t=250mm	-	141.47
K-3	バラスト t=250mm	-	
K-4	D-Box	砂	
K-5	D-Box	砂+バックホウによる埋め込み	
K-6	D-Box	発生土 (バラスト)	

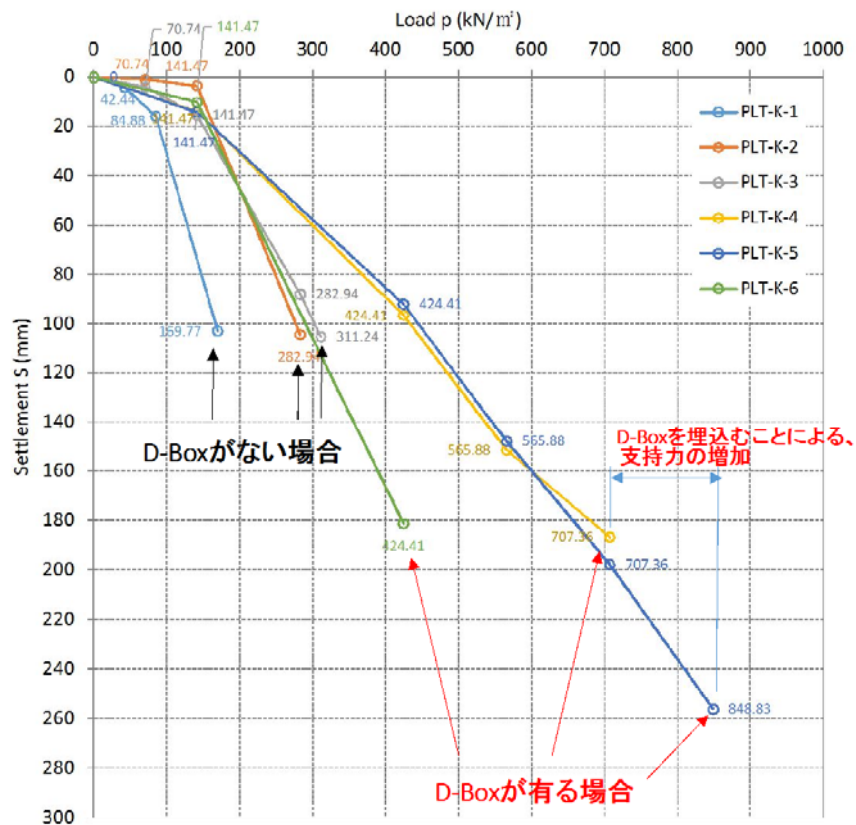


図 2.7-1 平板载荷試験結果（P-S 曲線の重ね合わせ図）

ポイント	極限支持力 (kN/m ²)
PLT-K-1	84.88
PLT-K-2	141.47
PLT-K-3	141.47
PLT-K-4	707.19
PLT-K-5	962.74
PLT-K-6	424.62



写真 2.7-1(1) 平板載荷試験後の断面状況



写真 2.7-1(2) 試験後の原地盤状況 (D-Box 下部)



写真 2.7-1(3) 平板載荷試験結果 K₃₀ の実施



写真 2.7-1(4) 平板載荷試験結果 K₃₀ の実施後

3. 設計マニュアル

3.1 はじめに

本マニュアルにおける設計は、鉄道路床を対象としており、D-Box を用いた軟弱地盤における支持力対策設計である。

D-Box の支持力機構を、平板載荷試験結果と FEM による再現解析によって解明した。次に、この再現解析から設定した解析モデルを拡張し、異なる条件の変形計算の定式化を行った。そして、破壊に関する支持力算定式を設定し、設計計算ケーススタディを実施して、設計マニュアルを作成した。

(解説)

D-Box の用途は以下の通りだが、本マニュアルでは鉄道路床を対象として、D-Box を用いた軟弱地盤における支持力対策とする。

- (1) **軟弱地盤対策・支持力対策**(すべり対策、沈下対策は本マニュアルの対象外とする)
- (2) 噴泥対策
- (3) 沈下抑制対策
- (4) 振動対策

D-Box の支持力機構は、原地盤の強度・変形特性を変化させることなく、砂置換工法による荷重分散効果に加え、D-Box 外側の“袋の張力”と“拘束された中詰土の強度・変形特性向上”による荷重分散効果によって成り立っている。このため、荷重の増加に対して、現地盤も含めた安全率が 1.0 のまま、地盤と D-Box の変形は増大するが、D-Box 構成する部材が破壊に至るまで続くことで破壊荷重が増大する。このことは D-Box の平板載荷試験結果から確認された。こうした D-Box による複数の構成部材の挙動を解析し、複雑な支持力機構を定量的に表現するため、FEM 解析を実施した。なお、実際の設計計算例を 7.5 に示す。

3.2 設計の考え方

鉄道路床を対象としての D-Box を用いた支持力対策は、想定する作用に対して無対策で安定性が確保困難な場合に検討する。

D-Box を用いた支持力対策設計に当たっては、D-Box 外部地盤の破壊に関する安全性、D-Box 構成部材毎の破壊に関する安全性、D-Box が支持する構造物の許容変位の 3 つが満足できるよう検討を実施する。

(解説)

鉄道路床の支持力対策は、構造物を支持する構造物地盤と D-Box が破壊しないとともに、支持する構造物の機能に支障が生じないように、許容変位以内に抑制可能な対策とする必要がある。

D-Box に必要強度を発生させるためには、施工時に設計荷重相当以上での転圧を行い、D-Box 及び下層地盤部を十分締め固めておく必要がある。そのため、中詰材や地盤状況によっては、大きな初期沈下や変形を伴う場合があるため、現場特性に合わせ D-Box の敷設レベルを確認する必要がある。

3.3 設計条件

(1) 軌道及びバラスト基本形状

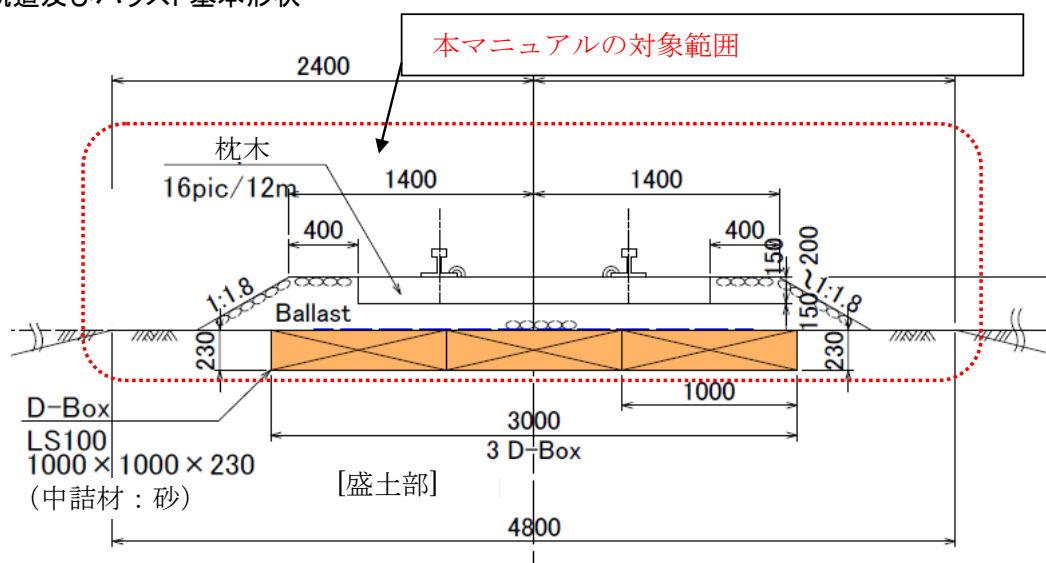


図 3.3-1 軌道及びバラスト基本形状

(2) D-Box への作用荷重:列車荷重および軌道荷重より算出した。(上載荷重 :28.2 kN/m²)

但し、列車重量 : 77t [幅 2 m 長さ 20 m], 軌道荷重 : 15 kN/m²

[車両荷重 : 17.4 kN/m²]

$$(q=W_T/(L_T \times L_B)=80 \times 9.8/(20 \times 2.25)=17.4 \text{ kN/m}^2)$$

q : 車両荷重 (17.4kN/m²)

W_T : 一車両の重量 (80ton)

L_T : 一車両長 (20m) L_B : 枕木幅 (2.25m)

[軌きょう荷重 : 2.0kN/m²]

$$(5.0\text{kN/m}^3/2.25\text{m} = 2.2\text{kN/m}^2)$$

[バラスト : 8.6kN/m²]

$$(19.0\text{kN/m}^3 \times 0.45\text{m} = 8.6\text{kN/m}^2)$$

以上より、上載荷重 : 28.2 kN/m²

(3) D-Box 基本形状・諸元・配置

D-Box の基本形状・諸元：下表参照。鉄道路床としては、LS-100 を使用。

表 3.3-1 D-Box の基本形状・諸元

項目	内部拘束式土のう (D-Box)				
仕様	製品名	D-Box LS-100M (ミャンマー製)		D-Box LS-100 (日本製)	
	サイズ (mm)	縦 1,000×横 1,000×高 250		縦 1,500×横 1,500×高 450	
	内部容量 (m ³)	0.25 m ³		1.0 m ³	
	製品特性	縦方向	横方向	製品材質	中詰材
	張力 (N/5cm)	1,800 以上 (1,600)	1,800 以上 (1,600)	ポリプロピレン	碎石 (C40 未満)、砂
	延性 (%)	18%未満	18%未満		

注記：張力試験の試験速度は 20cm/分

D-Box の配置： 鉄道路床として、D-Box (LS-100) の配置は一段とする。
但し、盛土を構築する場合は 2 段以上とする。

中詰材の材料と特性： 材料としては碎石、砂を用いる。(均等に十分に締め固めたもの)
締め固め後の単位体積重量を求め、強度・変形係数は室内土質試験(単位体積重量試験、三軸圧縮強度試験)を実施して設定する。また、三軸圧縮強度試験供試体は、実際の中詰材を用い、締め固め後の単位体積重量・含水比になるように作成した。

3.4 対象となる路床の原地盤強度(せん断強度)・変形係数の確認方法

路床の下方地盤においても、路床下面に作用する荷重に対して十分な支持力を有することが必要となる。また、乾燥した粘性土は吸水によって長期的にみて強度が著しく低下するため、必要な支持力を期待できるよう、原地盤上に D-Box は設置した。

しかし、現地状況から、D-Box を設置する地盤は軟弱な粘土地盤の場合がほとんどであり、粘土地盤の支持力照査が必要となる。このため、深い位置では原地盤の強度をボーリング調査・サウンディング、もしくは、浅い位置では原位置簡易一面せん断試験等の地盤調査により確認する必要がある。



写真 3.4-1 ボーリング調査状況



写真 3.4-2 サウンディング実施状況

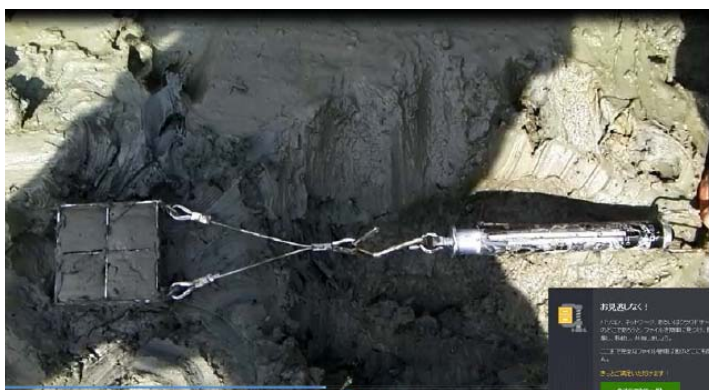


写真 3.4-3 原位置簡易一面せん断試験状況

3.5 D-Box 基礎の支持力の算出方法

3.5.1. D-Box 基礎の支持力

(1) D-Box 基礎の支持力計算式

D-Box を用いた基礎は、図 3.5-1 に示すように、上載荷重の分散の効果、及びシートの張力に拘束された中詰材のせん断抵抗力の効果によって補強される。よって、D-Box 基礎の支持力は、「荷重分散効果による支持力 ($q_a \cdot B_a$)」と「D-Box 内部のせん断抵抗力の効果による支持力 ($S \cdot H$)」を合わせたものであり、その支持力補強効果は、式 (3.5-1) の関係式で示される。

$$q_i \cdot B_i = q_a \cdot B_a + S \cdot H = q_a (B_i + 2H \cdot \tan \psi) + 2\tau_n \cdot H$$

$$= q_a (B_i + 2H \cdot \tan \psi) + 2H \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\} \dots \dots \dots \text{式 (3.5-1)}$$

式 (3.5-1) より、分散荷重 q_a を基礎地盤 (軟弱地盤) の極限支持力 q_{sa} として置換えると、D-Box 基礎の極限支持力 Q は式 (3.5-2) の関係式で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\} \dots \dots \dots \text{式 (3.5-2)}$$

ここに、 $Q \geq q_i$

なお、D-Box のせん断抵抗力及び支持力算定式の検討に際して、以下の技術資料を参考にした。

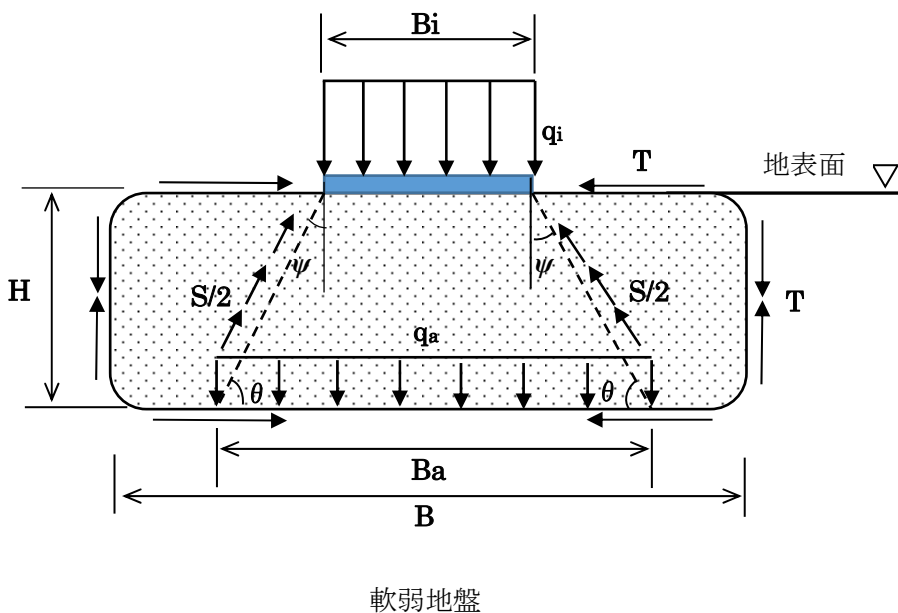
式 (3.5-2) は「マットレス工法の支持力計算式」と「土のう工法のせん断抵抗力の計算式」を組合わせた新しい支持力計算式 (門田の提案式) である。

○土のう工法の強度算定式

- ・「地盤工学の新しいアプローチ 構成式・試験法・補強法」：松岡 元, 京都大学学術出版会 2003 年 6 月

○マットレス工法の支持力算定式

- ・「マットレス工法 技術資料—設計編—」：特許公開資料 (公開番号：2010-255247 号)



- q_i : 載荷重
- B_i : 載荷重幅
- q_a : 分散荷重
- ※最大値は q_{sa}
- q_{sa} : 基礎地盤の極限支持力
- B_a : 分散荷重幅
- θ : 分散角
- $\theta = \pi/4 - \psi$
- S : せん断効果
- $S = 2\tau_n \cdot H$
- τ_n : D-Box のせん断抵抗力
- ψ : $\pi/4 - \phi/2$
- ϕ : 中詰め材の内部摩擦角
- T : D-Box シートの張力
- H : D-Box の高さ
- B : D-BOX の幅

図 3.5-1 D-Box 基礎の支持力補強効果の模式図

(2) D-Box 基礎の支持力計算式の解説

①D-Box のせん断抵抗力の算定方法

D-Box の破壊時の主応力は、式 (3.5-3) で示される。

$$\sigma_1 + \frac{2T}{B} = K_p \left(\sigma_3 + \frac{2T}{H} \right) \dots\dots\dots \text{式 (3.5-3)}$$

ここに、 $K_p = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$

図 3.5-2 のモールの応力円より、

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} - 2c \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \dots\dots\dots \text{式 (3.5-4)}$$

式 (4) より

$$\sigma_1 = \sigma_3 K_p + 2c \sqrt{K_p} \dots\dots\dots \text{式 (3.5-5)}$$

式 (3.5-3) 及び式 (3.5-5) より、D-Box シートの拘束力による見掛けの粘着力 c_D は、

$$c_D = \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \dots\dots\dots \text{式 (3.5-6)}$$

図 3.5-2 のモールの応力円より、せん断抵抗力 τ_n 及び主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ は、式 (3.5-7) 及び式 (3.5-8) で示される。

$$\tau_n = \cos \phi (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \dots\dots\dots \text{式 (3.5-7)}$$

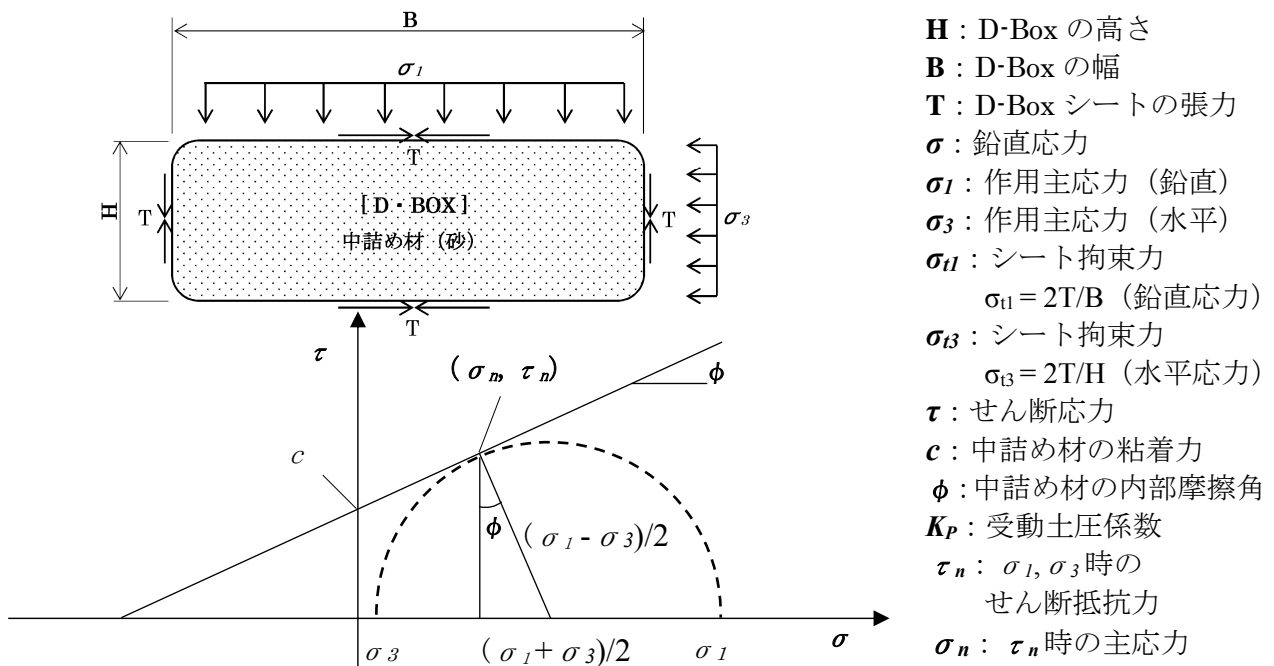
$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2 \times c \times \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi \dots\dots\dots \text{式 (3.5-8)}$$

式 (3.5-7) 及び式 (3.5-8) より、せん断抵抗力 τ_n は式(9)で示される。

$$\tau_n = \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} (c \times \cos \phi + \sigma_1 \times \sin \phi) \dots\dots\dots \text{式 (3.5-9)}$$

式 (3.5-9) の c を c_D 、 σ_1 を $\frac{2T}{B} + q_i$ (載荷重) に置替えると、D-Box のせん断抵抗力 τ_n は、

$$\tau_n = \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ c_D \times \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \times \sin \phi \right\} \dots\dots\dots \text{式 (3.5-10)}$$



- H** : D-Box の高さ
- B** : D-Box の幅
- T** : D-Box シートの張力
- σ : 鉛直応力
- σ_1 : 作用主応力 (鉛直)
- σ_3 : 作用主応力 (水平)
- σ_{11} : シート拘束力
 $\sigma_{11} = 2T/B$ (鉛直応力)
- σ_{33} : シート拘束力
 $\sigma_{33} = 2T/H$ (水平応力)
- τ : せん断応力
- c : 中詰め材の粘着力
- ϕ : 中詰め材の内部摩擦角
- K_p : 受動土圧係数
- τ_n : σ_1, σ_3 時のせん断抵抗力
- σ_n : τ_n 時の主応力

図 3.5-2 D-Box に作用する応力及びモールの応力円模式図

②D-Box 基礎の支持力の算定方法

D-Box 基礎の支持力は、「荷重分散効果による支持力 ($q_a \cdot B_a$)」と「D-Box 内部のせん断抵抗力の効果による支持力 ($S \cdot H$)」を合わせたものである。荷重分散効果は載荷幅及び D-Box 高さ等の影響を受け、せん断抵抗力の効果はシート張力及び中詰め材の内部摩擦角等の影響を強く受ける。図 3.5-3 より、D-Box 基礎による支持力補強効果は、式 (3.5-11) の関係式で示される。

$$q_i \cdot B_i = q_a \cdot B_a + S \cdot H = q_a (B_i + 2H \cdot \tan\psi) + 2\tau_n \cdot H \dots\dots\dots \text{式 (3.5-11)}$$

また、式 (3.5-6) 及び式 (3.5-10) を式 (3.5-11) に代入すると、式 (3.5-12) の関係式となる。

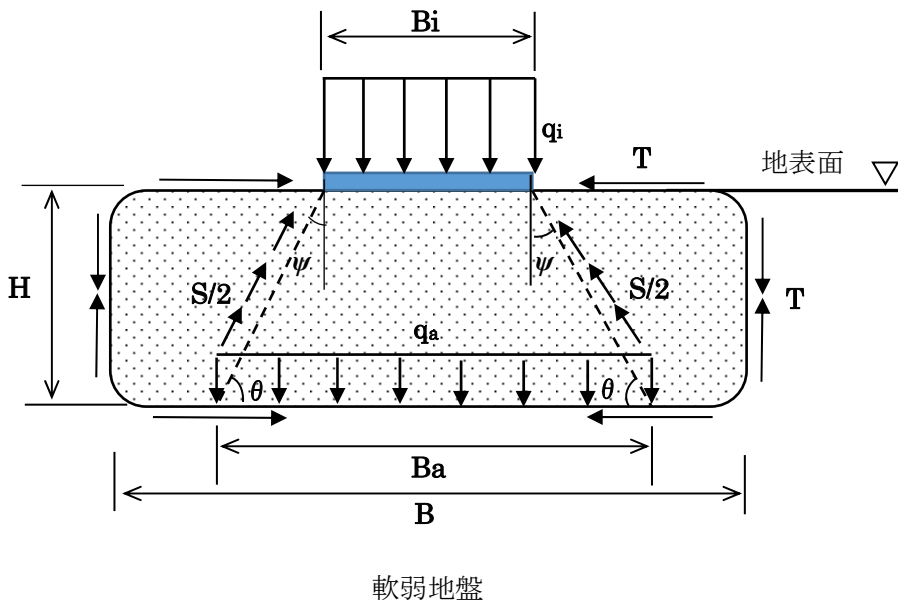
$$q_i \cdot B_i = q_a (B_i + 2H \cdot \tan\psi) + 2H \frac{\cos\phi}{1 + \sin\phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos\phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin\phi \right\} \dots\dots \text{式 (3.5-12)}$$

式 (3.5-12) より、分散荷重 q_a を基礎地盤 (軟弱地盤) の極限支持力 q_{sa} として置換えると、D-Box 基礎の極限支持力 Q は式 (3.5-13) の関係式で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan\psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos\phi}{1 + \sin\phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos\phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin\phi \right\} \dots\dots \text{式 (3.5-13)}$$

また、許容支持力は、安全率を $F_s=3$ とすると、式 (3.5-14) となる。

$$(Q_a)_{D-BOX} = \frac{1}{F_s} \times Q = \frac{1}{3} \times Q \dots\dots\dots \text{式 (3.5-14)}$$



- q_i : 載荷重
- B_i : 載荷重幅
- q_a : 分散荷重
- ※最大値は q_{sa}
- q_{sa} : 基礎地盤の極限支持力
- B_a : 分散荷重幅
- θ : 分散角
 $= \pi/4 - \psi$
- S : せん断効果
 $= 2\tau_n \cdot H$
- τ_n : D-Box のせん断抵抗力
- ψ : $\pi/4 - \phi/2$
- ϕ : 中詰め材の内部摩擦角
- T : D-Box シートの張力
- H : D-Box の高さ
- B : D-Box の幅

図 3.5-3 D-Box 基礎の支持力補強効果の模式図

3.5.2. D-Box(LS-100)基礎の設計支持力

(1) D-Box(LS-100)基礎の極限・許容支持力

D-Box (LS-100) 基礎の支持力は、式 (3.5-1) に示すように、載荷重の幅及び D-Box を設置する基礎地盤（軟弱地盤）の支持力の影響を受ける。平板載荷試験及び FEM 解析より求めた、D-Box 基礎の設計支持力、設計条件を表 3.5-1 及び図 3.5-4 に示すとおりである。また、D-Box (LS-100) 基礎の設計支持力は、同じ厚さ・材料の置換工の設計支持力の約 1.0～2.5 倍である。

表 3.5-1 D-Box (LS-100) 基礎の設計支持力

載荷重の幅 B_i $B_i=B$ B : D-Box 幅	極限支持力 Q kN/m^2	100	170	270
	許容支持力 Q_a kN/m^2 $Q_a=Q/F_s=Q/3$ F_s : 安全率	33	56	90
	基礎地盤の粘着力 c kN/m^2	5～10	10～15	15～20
載荷重の幅 B_i $B_i \leq B/3$ B : D-Box 幅	極限支持力 Q kN/m^2	210	360	570
	許容支持力 Q_a kN/m^2 $Q_a=Q/F_s=Q/3$ F_s : 安全率	7	120	190
	基礎地盤の粘着力 c kN/m^2	5～10	10～15	15～20

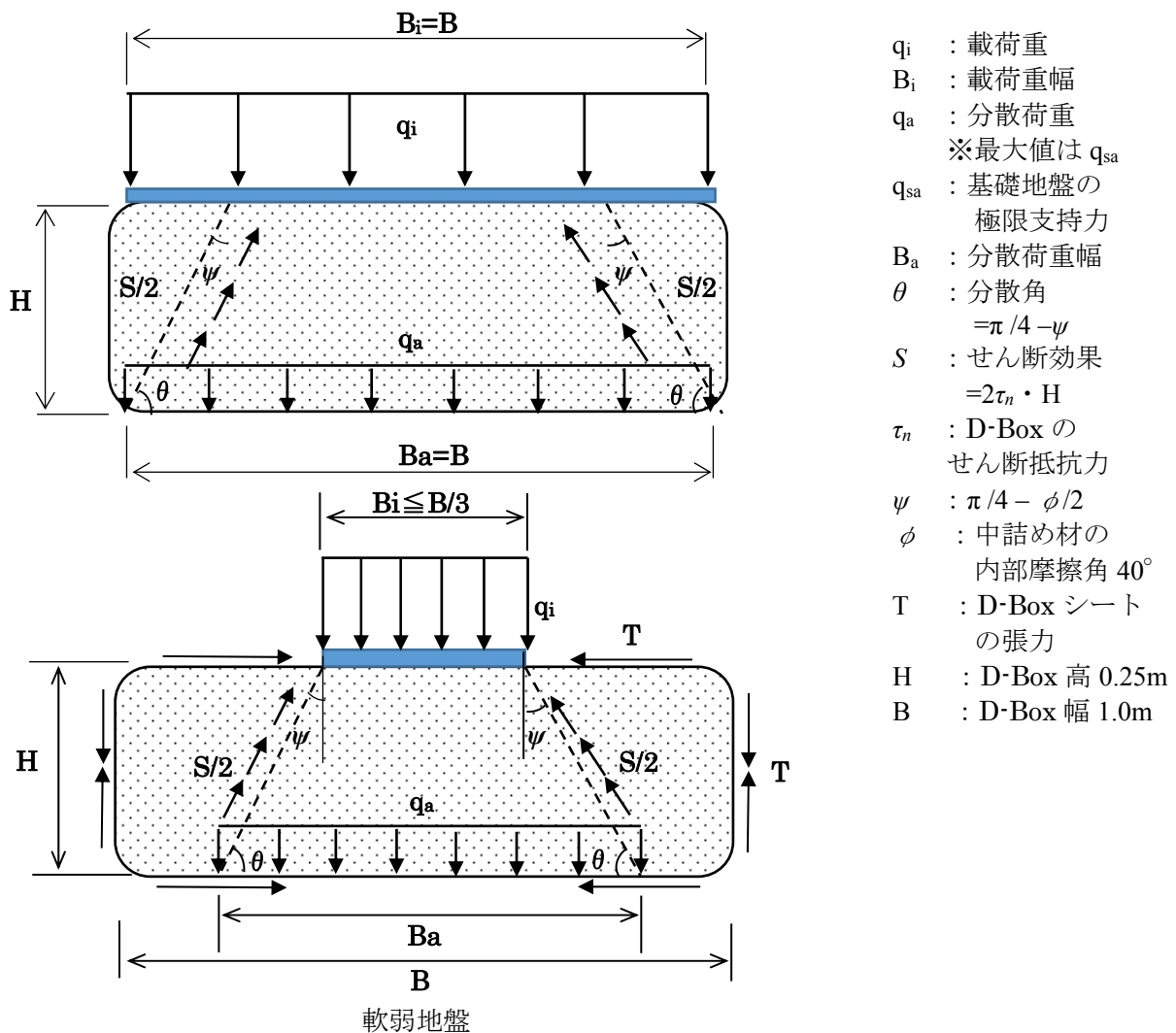


図 3.5-4 D-Box (LS-100) 基礎の支持力の設計条件

(2) D-Box (LS-100) 基礎の極限・許容支持力の解説

通常 D-Box を設計する際は、上部構造物の荷重が D-Box 全面にかかり、D-Box 全体の張力が効果的に機能するように計画するが、今回の試験では D-Box の特性を顕著化させるため、あえて変形の最も大きい中央部（内部拘束具が作用し難い）に点荷重をかけた試験としている。

①平板載荷試験結果の再現計算による検証

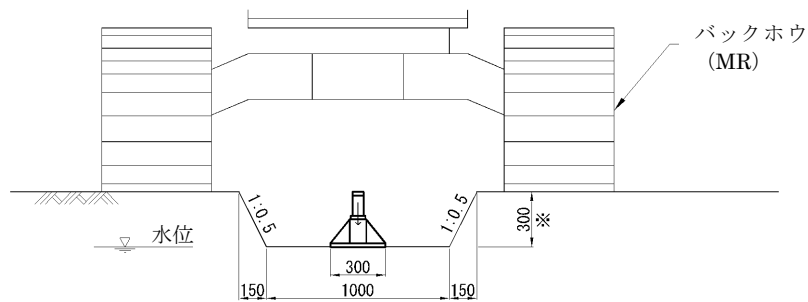
平板載荷試験結果及び FEM による再現解析結果（平板載荷試験）より、式 (3.5-1) に示す支持力計算式、及び表 3.5-1 に示す D-Box (LS-100) 基礎の設計支持力の妥当性について検証する。

a) 平板載荷試験の条件

平板載荷試験は、図 3.5-5～図 3.5-6 に示す条件で実施されている。

PLT-K-1 基礎地盤（粘性土）の上で直接平板載荷試験

⇒極限支持力の測定及び基礎地盤の強度定数の算出

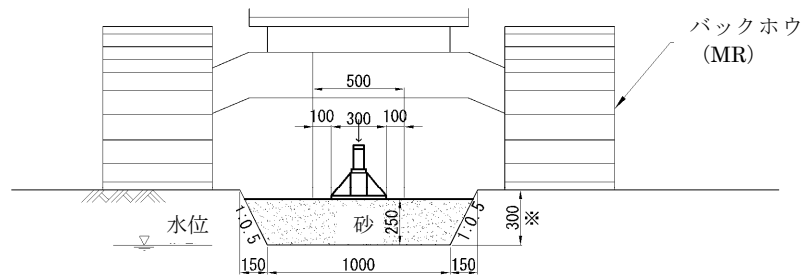


K-1 基礎地盤

図 3.5-5 平板載荷試験(1) PLT-K-1

PLT-K-2 基礎地盤を厚さ 25cm の砂で置換え、その上で平板載荷試験

⇒極限支持力の測定及び砂の強度定数の算出

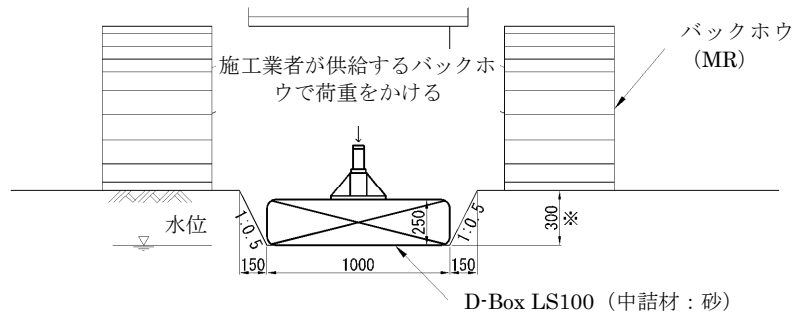


K-2 砂 t=250

図 3.5-6 平板載荷試験(2) PLT-K-2

PLT-K-4 基礎地盤（粘性土）の上で D-Box（高さ 25cm）を設置し、その上で平板載荷試験

D-Box の中には砂を入れる⇒極限支持力の測定及び強度定数の算出



K-4 中詰材: 砂

図 3.5-7 平板載荷試験 (3) PLT-K-4

b) 設計計算条件

支持力計算式は、帯状基礎場合のモデルに基づいて導かれているため、載荷試験の結果を帯状基礎と仮定して、計算式の検証を行う。

○D-Box の中詰砂の設計定数

中詰砂の排水三軸試験結果より、中詰砂の内部摩擦角 ϕ 及び分散角 ψ は、

$$\phi_s = 41.4^\circ,$$

$$\psi = 45^\circ - \phi/2 = 24.3^\circ$$

○D-Box (LS-100) のシート強度

・生地引張強度

縦・横とも引張強度（製品基準強度）は 1,850N/5cm 以上 \Rightarrow 37kN/m

・帯（上面）

帯の引張強度（製品基準強度）は 19,000~21,000N/7cm \Rightarrow 19~21kN/7cm

縦・横とも 4 本の帯が配置されている。

\Rightarrow 76~84kN/m

・帯（下面）

縦・横の引張強度（製品基準強度）は $(1/\sqrt{2}) \times 19 \sim 21 \text{ kN/m} = 13.4 \sim 14.8 \text{ kN/m}$

・シート強度の合計

上面の引張強度（製品基準強度） \Rightarrow 生地+帯 = 112~122kN/m

下面の引張強度（製品基準強度） \Rightarrow 生地+帯 = 49.4~52.8kN/m

小さい方の値を用いて、 $T = 50 \text{ kN/m}$ とする。

\rightarrow 許容値は、製品基準強度の 2 分の 1 と仮定すると、 $T_A = 50 \div 2 = 25.0 \text{ kN/m}$

○平板載荷試験及び D-Box (LS-100) 基礎の形状

・載荷板の基礎幅 $B_i = 0.3 \text{ m}$

・D-Box の高さ $H = 0.25 \text{ m}$

・D-Box の幅 $B = 1.0 \text{ m}$

○D-Box (LS-100) 基礎の支持力計算式

D-Box 基礎 (LS-100) の極限支持力 Q は、式 (3.5-15) に上記設計条件を代入すると

極限支持力 $Q =$ (荷重分散効果) + (シート張力による中詰め材のせん断抵抗増加の効果)

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T_s}{B \sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T_s}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}$$

$$= 1.75 \times q_a + 5.7 \times T_s + 0.5 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (15)}$$

ここに、 q_a : D-Box を設置する基礎地盤の支持力

\rightarrow 平板載荷試験結果 (PLT-K-1) より、 $q_{sa} = 84.88 \text{ kN/m}^2$

T_s : シートの設計張力 (シートの許容値ではない)

c) シートに発生する張力

図 3.5-7 に示す FEM による平板載荷試験の再現解析結果より、荷重段階毎のシートに発生する張力を整理した。解析モデル図及びシート張力の計算結果図を図 3.5-8 に示し、載荷重と張力（各載荷段階における張力の最大値）の関係をまとめて図 3.5-9 に示す。

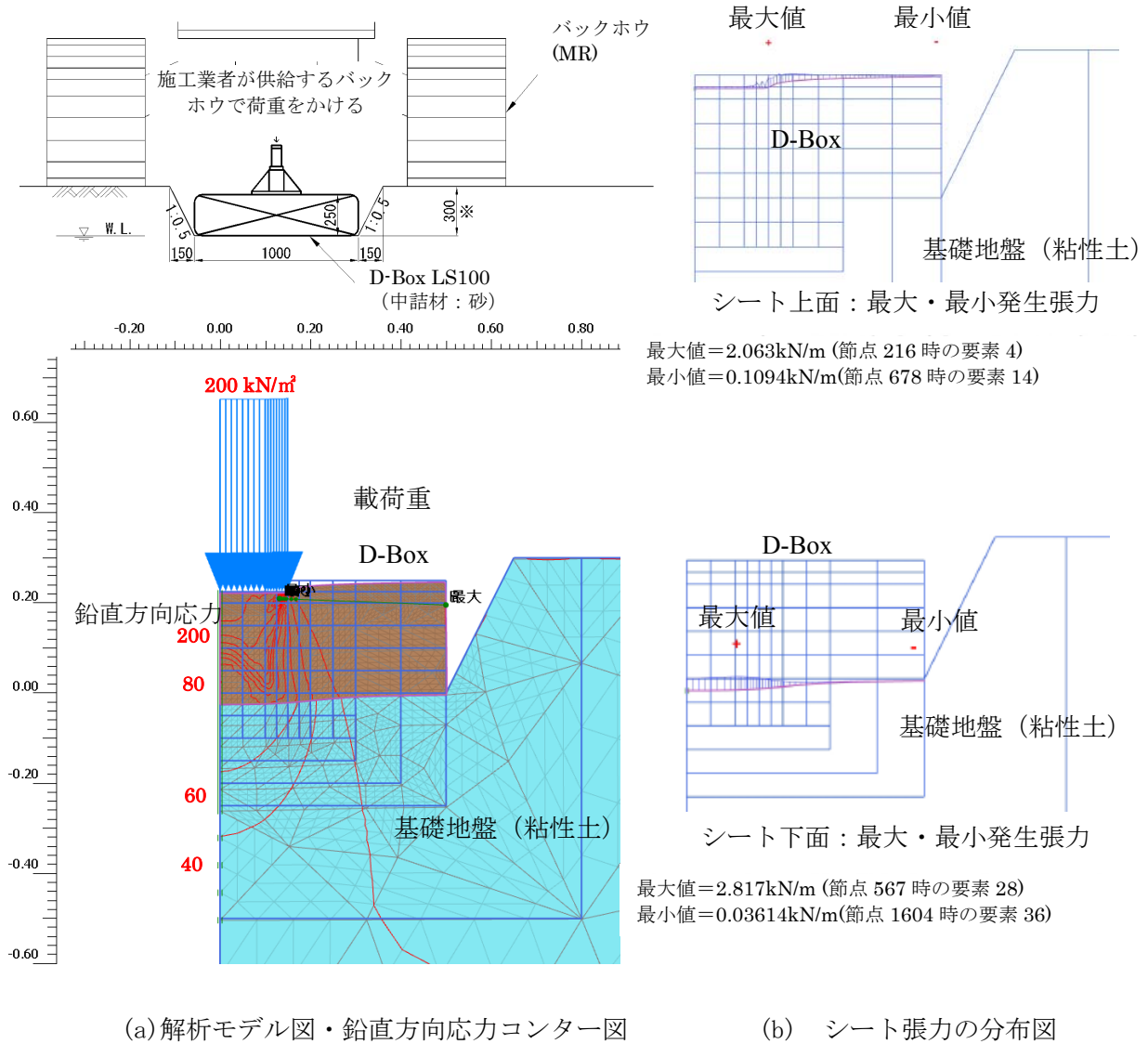
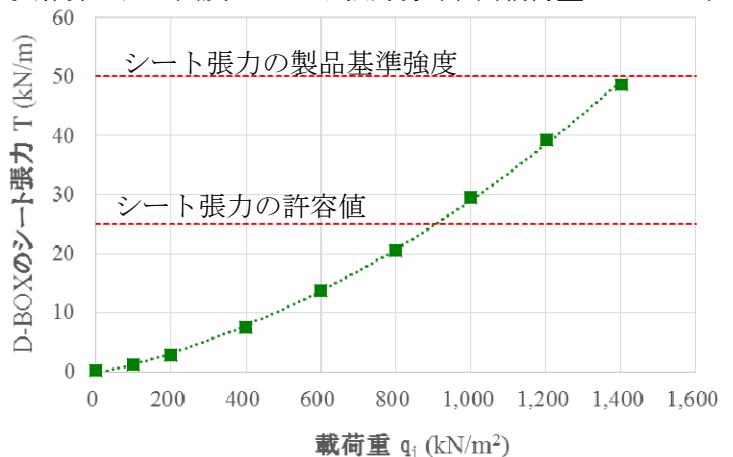


図 3.5-8 平板載荷試験 (PLT-K-4) 再現解析モデル図及びシート張力分布図 (載荷重 200kN/m²)

FEM による再現解析の結果、荷重段階に応じて、シートに発生する張力は増加している。載荷重が 900kN/m² 程度になると、シートに発生する張力は許容値の 25kN/m 程度になる。また載荷重が 1,400kN/m² 程度になると、製品基準強度に近い張力が、シートに発生すると推定される。



d) 提案式による支持力計算

FEM 解析で求めたシート張力を設計張力 T_s として、式(3.5-16)に代入し、各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎の極限支持力を計算して、図 3.5-11 に整理した。また、同図には、式(3.5-16)を用いて D-Box 内部の支持力を算定し、D-Box 基礎及び置換工の支持力を合わせて明示した。さらに、極限支持力と平板載荷試験結果の「鉛直荷重～鉛直変位関係」を合わせて、図 3.5-12 に整理した。

粘着力 c_D は松岡式より、

$$c_D = \frac{T}{B\sqrt{K_P}} \left(\frac{B}{H} K_P - 1 \right)$$

となることから、D-Box 内部の極限支持力は次式となる。

$$\begin{aligned} \text{D-Box 内部の極限支持力 } Q_D &= (\text{形状係数 } \alpha) \times (\text{支持力係数 } N_c) \times (\text{粘着力 } c_D) \\ &= 1.2 \times 5.14 \times \frac{T_s}{B\sqrt{K_P}} \left(\frac{B}{H} K_P - 1 \right) = 1.2 \times 5.14 \times 8.4 \times T_s = 51.81 \times T_s \text{ (kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{式 (3.5-16)} \end{aligned}$$

D-Box (LS-100 : 高さ 25cm) の荷重分散効果による極限支持力は $q_1=148.54(\text{kN/m}^2)$ であり、この値は高さ 25cm の砂置換工における平板載荷試験結果 (PLT-K-2 地点) の極限支持力 $141.47(\text{kN/m}^2)$ と同程度である。砂置換工の平板載荷試験は、荷重分散効果による支持力増加を確認する目的の試験であることから、計算式 ($1.75 \times q_a$) は妥当であると判断される。

(PLT-K-2 地点)

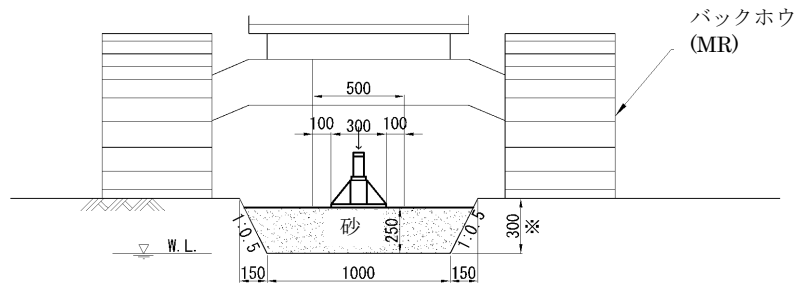


図 3.5-10 高さ 25cm の砂置換工における平板載荷試験 (PLT-K-2 地点)

次にシート張力によるせん断効果を加えた、D-Box (LS-100) 基礎の極限支持力と載荷重の関係を見ると、載荷重が $380(\text{kN/m}^2)$ に達すると極限支持力と同じになり、安全率 1 の状態となっている。その後は、載荷重の増加に伴いシート張力が増加し、極限支持力も増加するが、基礎地盤 (軟弱地盤) の塑性化の影響を受け、安全率 1 未満の状態が続いている。ただし、D-Box 内部の極限支持力は大きく増加し、載荷重以上の支持力を示しており、D-Box 自体は安定状態である。なお、鉛直変位は $5\text{cm} \sim 25\text{cm}$ 程度と載荷重の増加及び基礎地盤の塑性化の進行に伴って増加している。

載荷重と支持力の釣合い及び沈下量等を踏まえると、平板載荷試験による D-Box (LS-100) 基礎の極限支持力 Q は、初めに載荷重と支持力が等しくなる (安全率 1 の状態) 荷重 $q=380(\text{kN/m}^2)$ が妥当であると考えられる。この時のシート張力の計算値は $T=7\text{kN/m}$ 、平板試験時の鉛直変位は 7cm である。

上記より、D-Box (LS-100) 基礎の極限支持力は、 $Q=380(\text{kN/m}^2)$ を採用する。許容支持力は、安全率を $F_s=3$ とすると式 (3.5-17) となり、 $(q_a)_{\text{D-BOX}}=126.67(\text{kN/m}^2)$ となる。

$$(Q_a)_{\text{D-BOX}} = \frac{1}{F_s} \times Q = \frac{1}{3} \times Q \dots\dots\dots \text{式 (3.5-17)}$$

また、D-Box の中詰め材と同じ材料の置換工の極限支持力は、平板載荷試験結果 (PLT-K-2 地点) より、 $141.47(\text{kN/m}^2)$ である。安全率を 3 とした許容支持力は $47.16(\text{kN/m}^2)$ となる。すなわち、D-Box (LS-100) 基礎の許容支持力は、同じ高さ・材料の置換工の許容支持力に対して、約 2.7 倍の支持力増加が期待できると判断される。

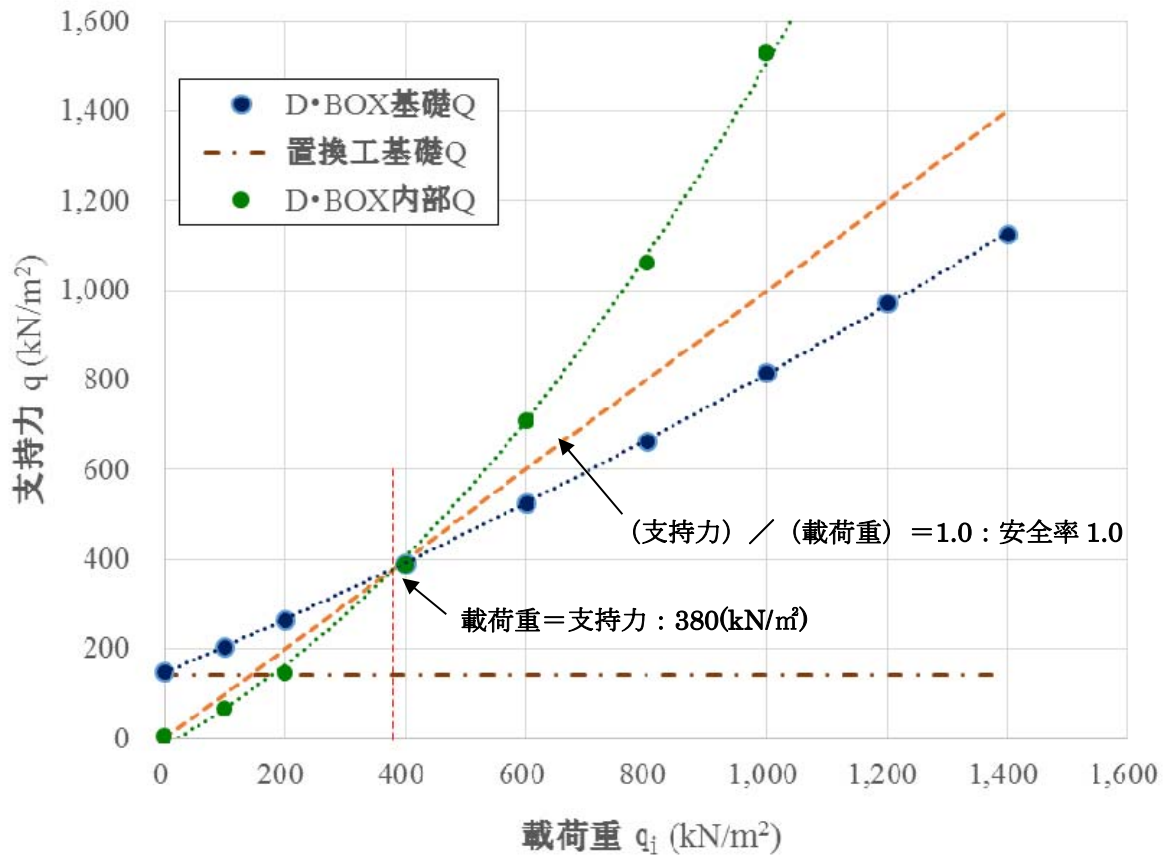


図 3.5-11 各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎・D-Box 内部・置換工の極限支持力

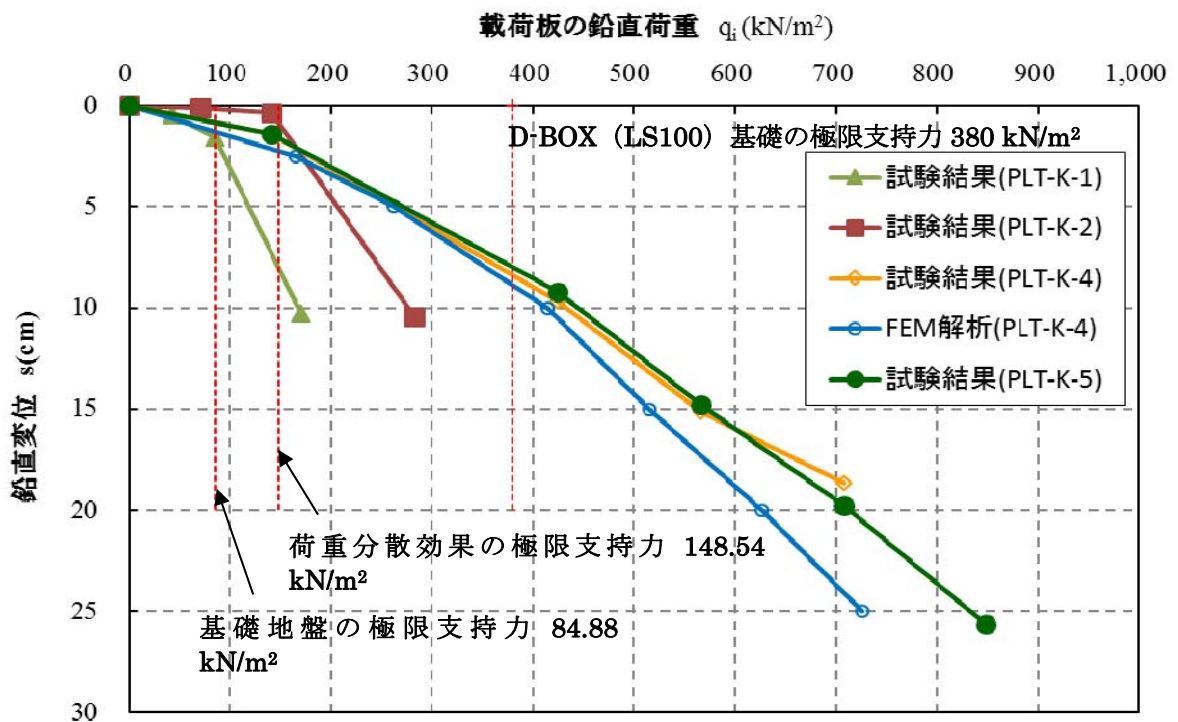


図 3.5-12 平板載荷試験結果と算定した極限支持力との比較

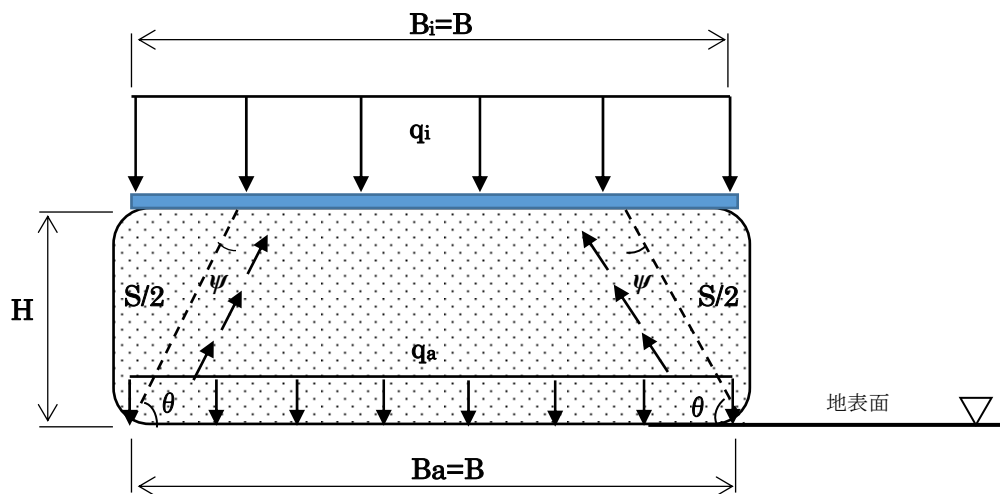
② 荷重幅及び基礎地盤支持力を変更した場合の支持力計算のケーススタディ

FEM 解析により、D-Box に作用する荷重幅及び基礎地盤支持力を変更した場合のケーススタディを実施し、置換工（D-Box 中詰め材と同じ材料・同じ高さ）を用いた場合の支持力と比較した。

荷重幅は D-Box の支持力補強効果が小さくなる、全幅荷重（D-Box 基礎幅と同じ幅の荷重）とし、その他、ケーススタディの条件は以下のとおりである。

- D-Box (LS-100) 基礎及び置換工基礎の形状
 - ・ D-Box の高さ $H=0.25\text{m}$ 、D-Box の幅 $B=1.0\text{m}$
 - ・ 置換工の高さ $H=0.25\text{m}$
 - ・ D-Box (LS-100) 基礎及び基礎は地表面に設置

< D-Box (LS-100) 基礎モデル >



< 置換工基礎モデル >

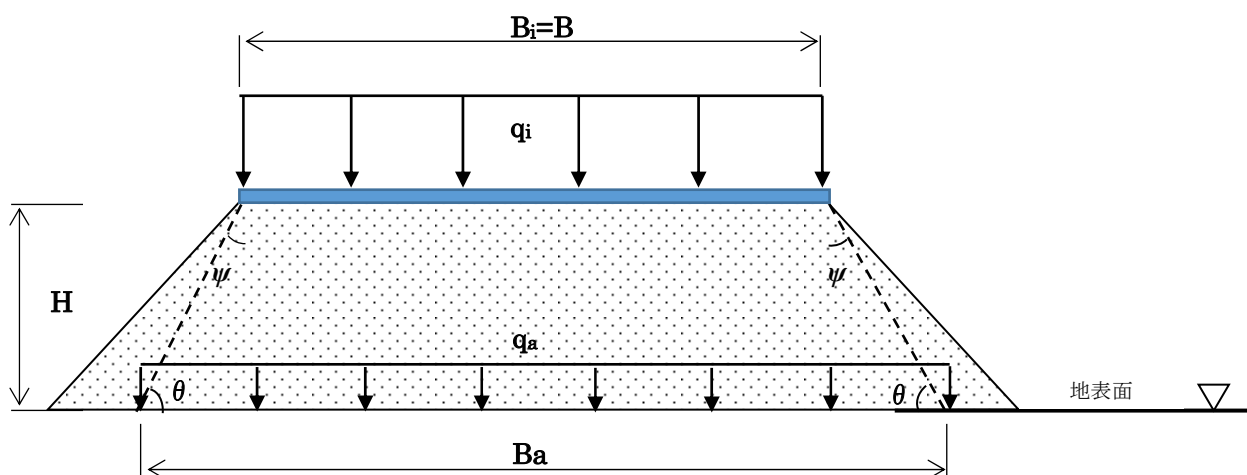
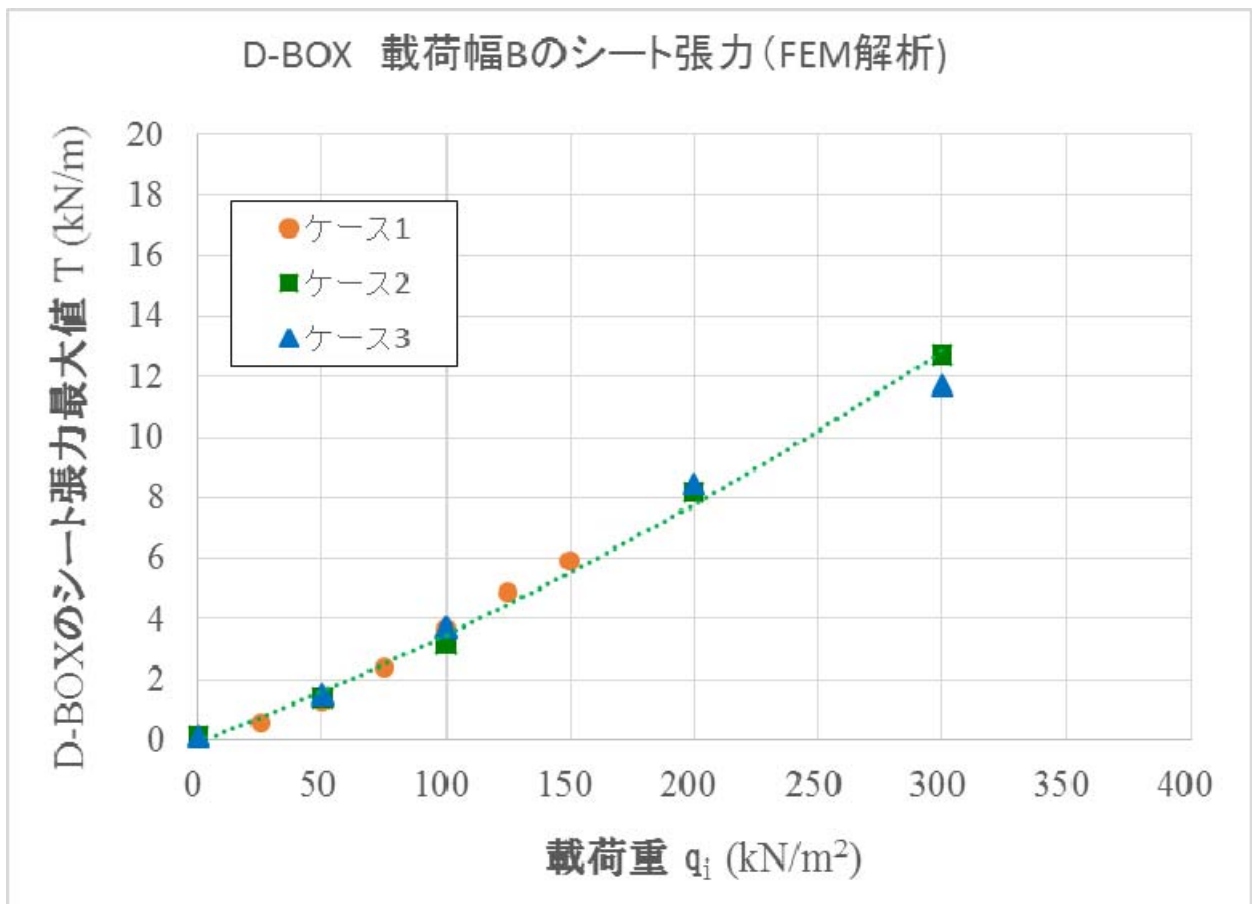
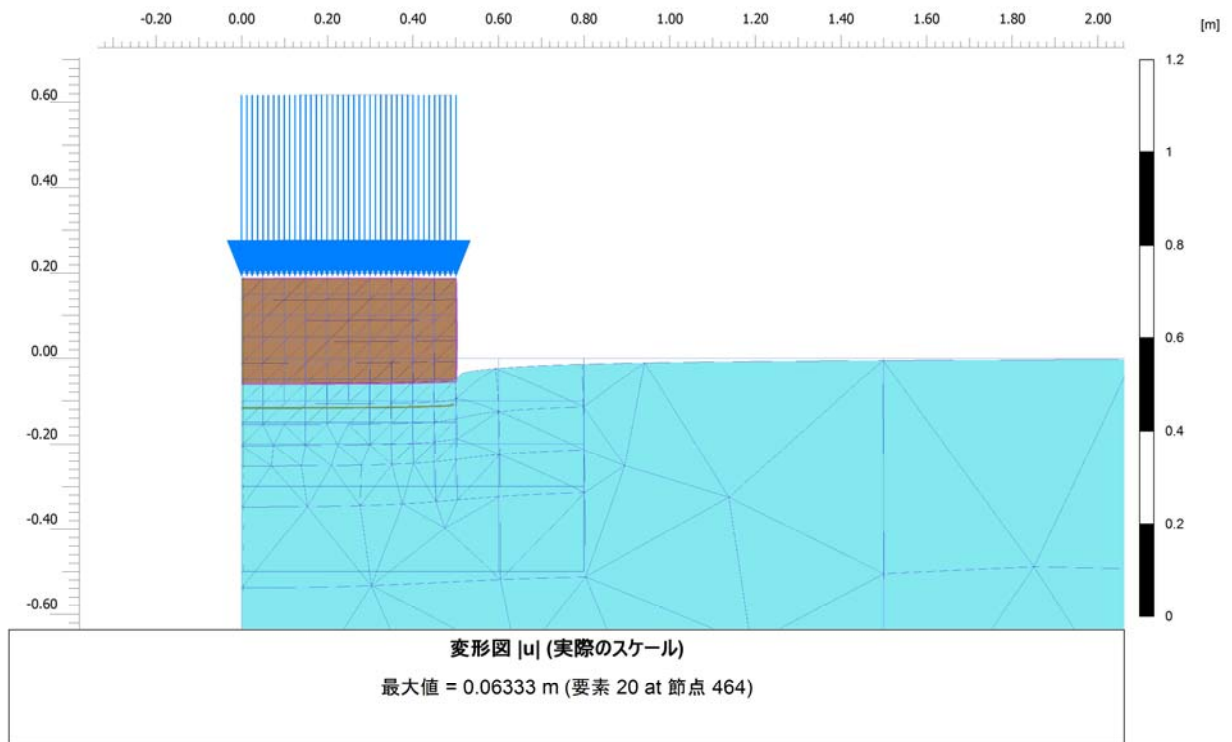
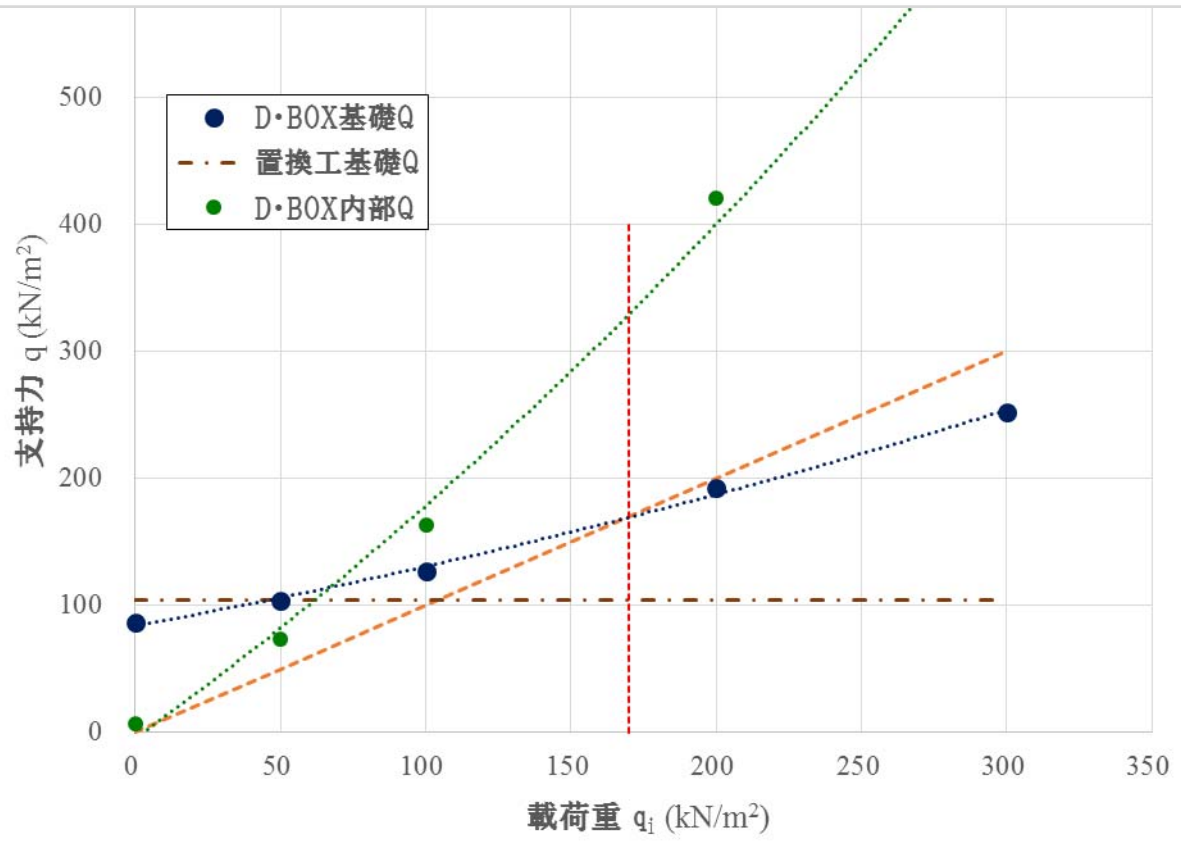
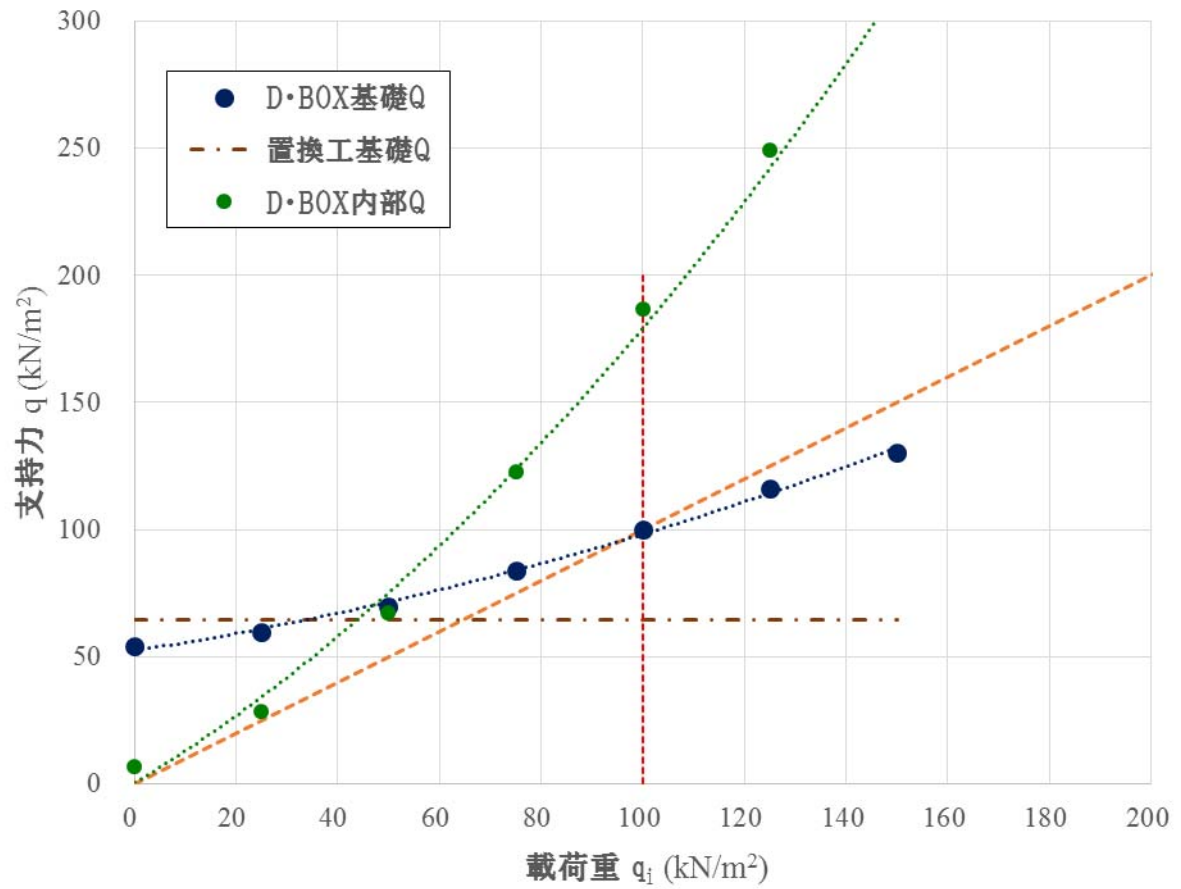


図 3.5-13 支持力計算のケーススタディモデル

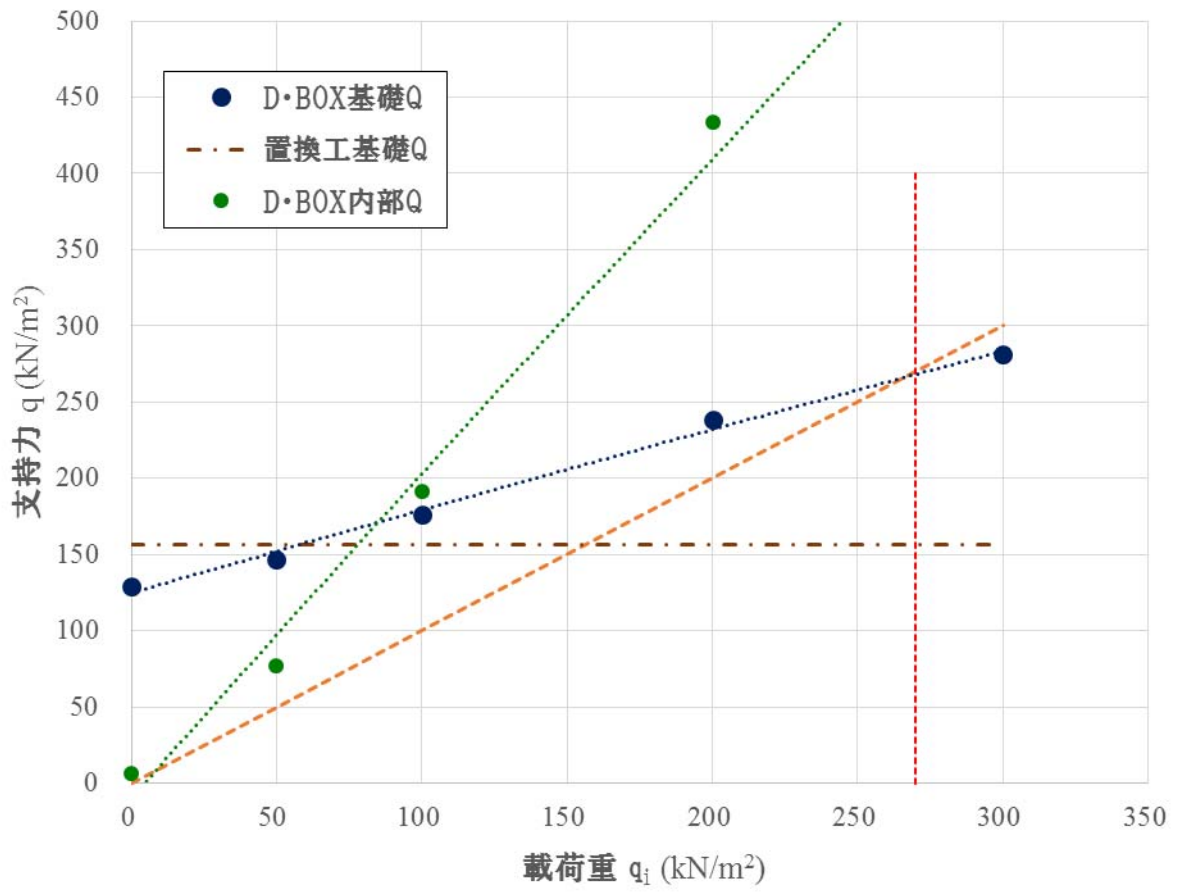
○基礎地盤の支持力及び粘着力ケース



D-BOX 載荷幅Bの支持力(FEM解析) : E/2



D-BOX 載荷幅Bの支持力(FEM解析): 2E



4. 施工方法マニュアル

4.1 D-Box 工法の基本的な施工フロー

D-Box の施工は図 4.1-1 に示すように、設計図面が完成後に準備工として、D-Box の製作ヤードの確保、重機の搬入路の整備、安全柵、安全サイン、トイレ、従業員安全装備（ヘルメット、反射帯、安全靴等）等の整備を行う。その後、D-Box の製作工と D-Box 敷設工の 2 班に分かれて作業を行なうことが基本であるが、重機を使用しない手作業の場合には、原位置で D-Box を製作/敷設するため同時作業となる。

なお、D-Box の覆土工は、D-Box を紫外線から守るために行なう場合と、建物の基礎部のように、構造的に埋め戻しが必要な場合の 2 つの場合がある。

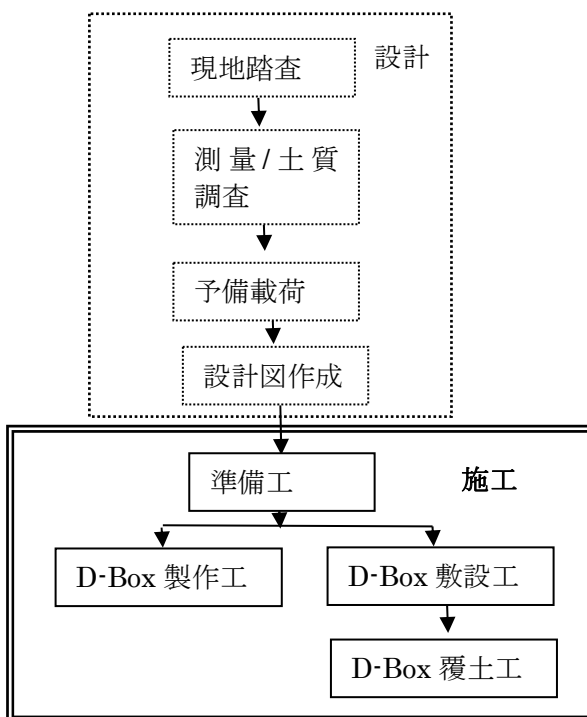


図 4.1-1 D-Box の施工及び設計フロー

4.2 D-Box 対象工事

4.2.1 対象工事

鉄道関係での D-Box の対象となる工事は次の 3 項目である。

- (1) 軟弱地盤対策
- (2) 噴泥対策
- (3) 振動対策

4.2.2 軟弱地盤対策

第 3 章で示したように D-Box を用いた Ainme のプロジェクトで実施した試験の場合の極限支持力は、直接基礎の約 3 倍の極限支持力を得る。一方そのためには、対象地盤が乾燥している場合には十分に散水し水分を吸水させた後に、D-Box を設置しさらに、約 9cm 程度の貫入が必要である。

貫入方法としては、事前载荷 (Pre-load) やバックホウによって D-Box を原地盤へ押込させる。

この D-Box の性質を把握した上で、事前に必要な荷重相当に対応した貫入 (以下：強制加圧と呼ぶ) を行なった上で、以下に示す場所での軟弱地盤対策が可能となる。

- (1) 盛土基礎部【盛土下面を対象】：原地盤の圧密沈下と盛土自体の圧密沈下は対象外

エーヤワディ地区 (Ayeyarwaddy Region) のデルタ地帯の鉄道や道路の盛土基礎部 (Foundation) は、軟弱地盤 (Soft Clay) の上に直接盛土を行なっているため、雨季には地盤支持力が不足し、すべりが発生するなどの不安定な状態であり、毎年のように補修を行なっている。

そのため、図 4.2-1 に示すように、盛土基礎部の下に D-Box を敷設することにより地盤の極限支持力を増大させることが可能となる。なお、盛土高が高い場合 (5m 程度) には、図 4.2-2 に示すように、D-Box が左右に引張られるため、D-Box 間をジョイントすることにより、一体化する必要があるが、最も簡単な方法としては、D-Box 設置後 D-Box 上面部全面に透水性のある土木用補強シートを敷設する方法がある。またより強度が必要な場合は、隣接する D-Box 下部の角部にある補強バンドの隙間部を、ロープ等で結び一体化する。

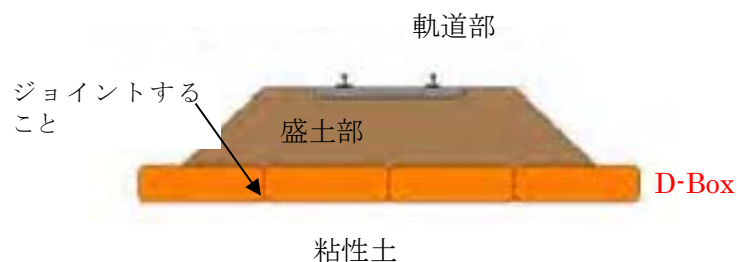


図 4.2-1 軟弱地盤上の盛土基礎への D-Box の活用 (支持力増大)

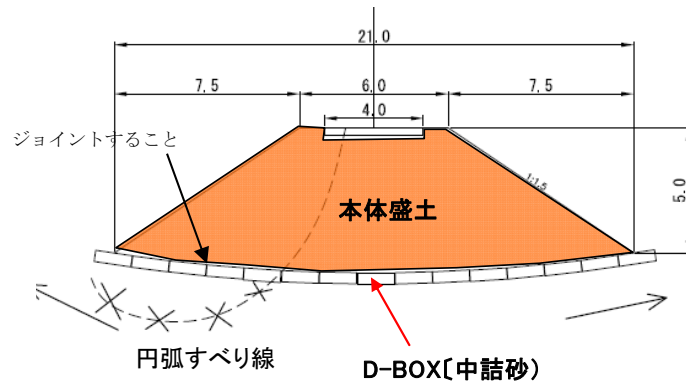


図 4.2-2 道路を対象：5m の盛土を行なった場合の D-Box 敷設イメージ

(2) 駐車場及び道路基礎

軟弱地盤上の道路の下層路盤として、D-Box を使用することにより、振動低減，地盤支持力増加（地盤反力係数K値の増加）が期待できる。なお、軟弱地盤に D-Box を押込むことにより強制沈下を行い、沈下抑制効果が期待できる。図 4.2-3 に道路及び駐車場での D-Box の使用例を示す。

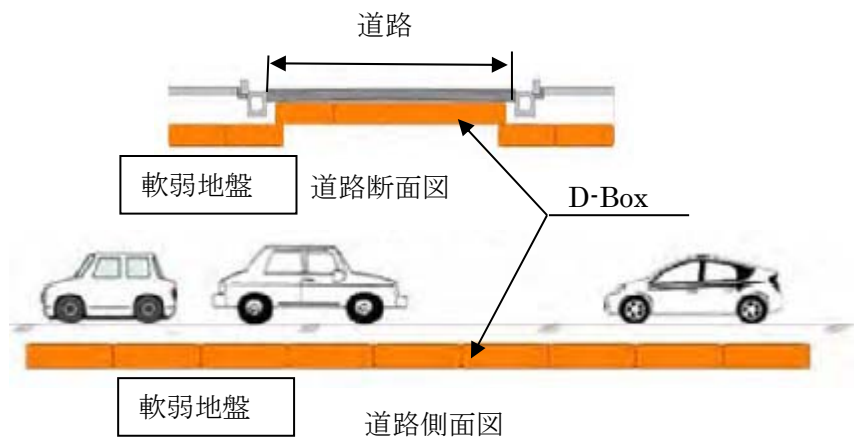


図 4.2-3 道路及び駐車場基礎（下層路盤）への D-Box 敷設イメージ



図 4.2-4 道路下路盤使用例（日本 滋賀県）

(3) 建物基礎部

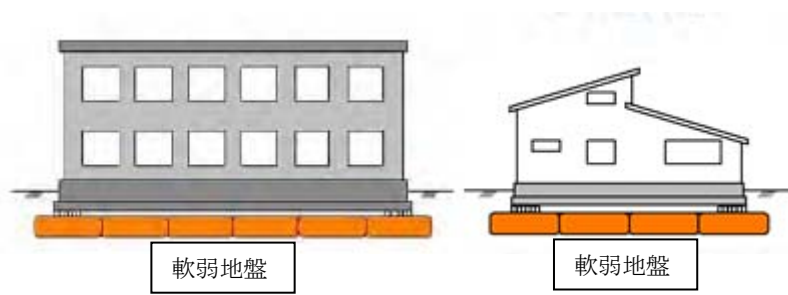


図 4.2-5 建物基礎部への D-Box 使用イメージ

(4) 擁壁，開渠基礎

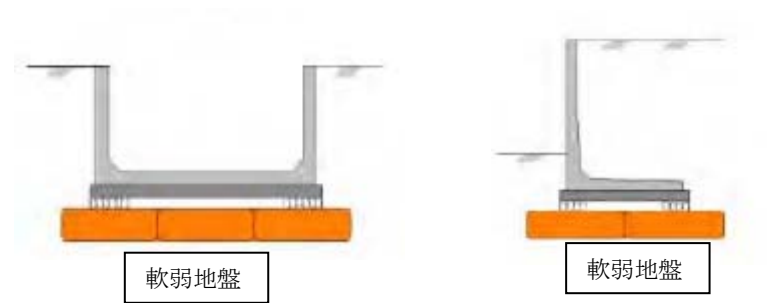
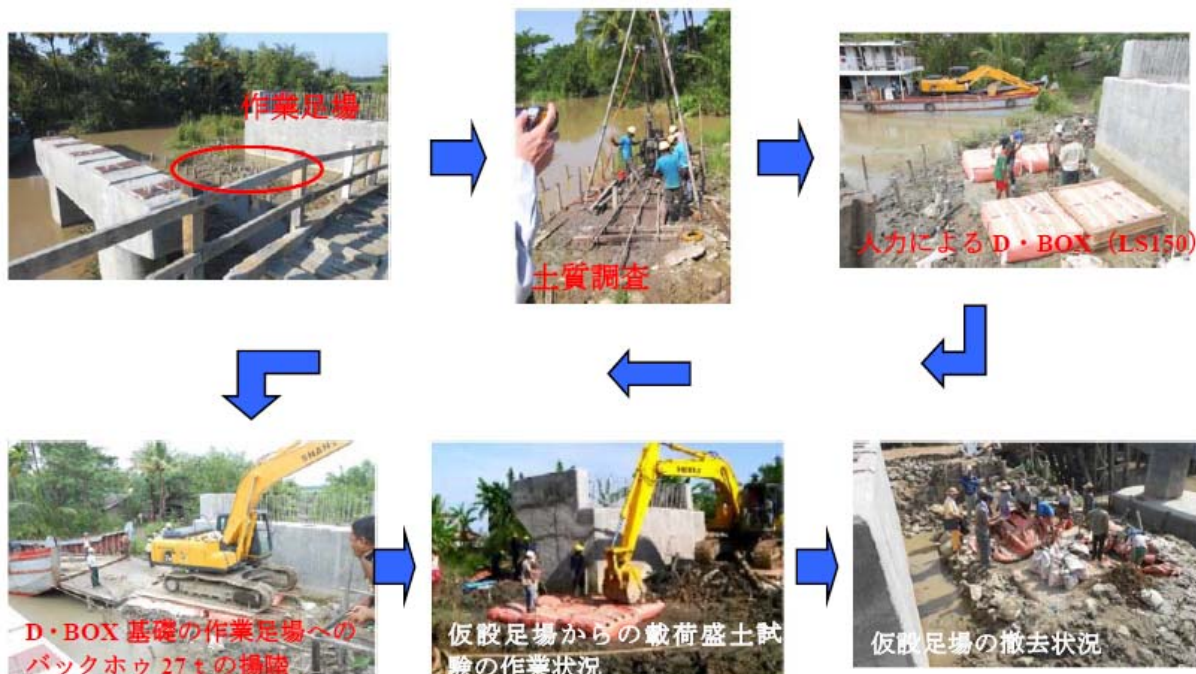


図 4.2-6 ボックスカルバート/擁壁基礎部への使用イメージ

(6) 重機用仮設足場

2013年11月に実施したボガレーの軟弱地盤上での Back-hoe 0.6m³ の作業用足場としての D-Box の使用例を図 4.2-7 に示す。仮設足場例の例では、バックホウ 27t の作業用の足場として、D-Box LS-150 (中詰砂) を用いて支持力増大を行った。なお、作業後の最大沈下量は、最も軟弱な川側の盛土部でバックホウ前面先端部と背面部 (①及び④) で約 0.3m であった。



軟弱地盤における D・BOX を使用した、バックホウ(27t)の仮設作業足場 (2013年11月)

バックホウの作業用仮設足場の沈下

point	11/9	11/10 (AM)	11/10(PM)	11/11 (PM)	11/12 (AM)	総沈下量(m)
1	97.588	97.583	97.345	97.340	97.302	0.286
2	97.699	97.696	97.587	97.584	97.569	0.130
3	97.592	97.602	97.473	97.477	97.450	0.142
4	97.797	97.757	97.585	97.538	97.508	0.289
5	97.831	97.805	97.776	97.772	97.757	0.073
6	97.879	97.827	97.822	97.750	97.750	0.129

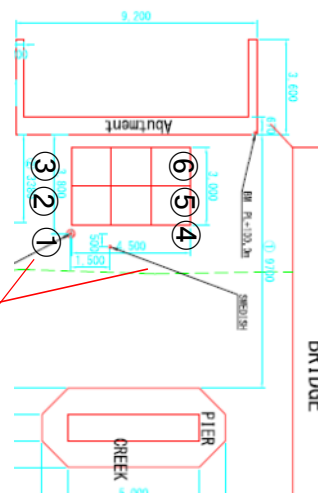


図 4.2-7 軟弱地盤上の仮設足場としての利用例 (支持力増大)

4.2.3 噴泥対策

鉄道線の噴泥とは、道床中より線路上面へ路盤土が泥土として噴き出る現象を言う。造成基礎地盤に粘性土が含まれている場合には、列車通過時の振動等により液状化現象と同様に、水分とともに、細かい粘土の粒子が浮き上がり、軌道部の基礎地盤支持力を低下させる現象である。



図 4.2-8 エインメの Chaungphyar Site の雨季の状況

① 軌道下への D-Box の設置目的

ミャンマー国のエーヤワディ地域の大部分はデルタ地帯であり、雨期になると軌道近くまで水位が増加する。これにより盛土区間ののり面は、水分を吸収した粘土が軟弱化し、且つ、水位低下による流砂現象により、のり面崩壊が発生する。また、列車の通過により水位上昇で軟弱化した路盤(Foundation Bank)にバラストが食い込み、噴泥現象により、軌道狂いが発生する。これらの現象の抑制を目的として D-Box を設置した。

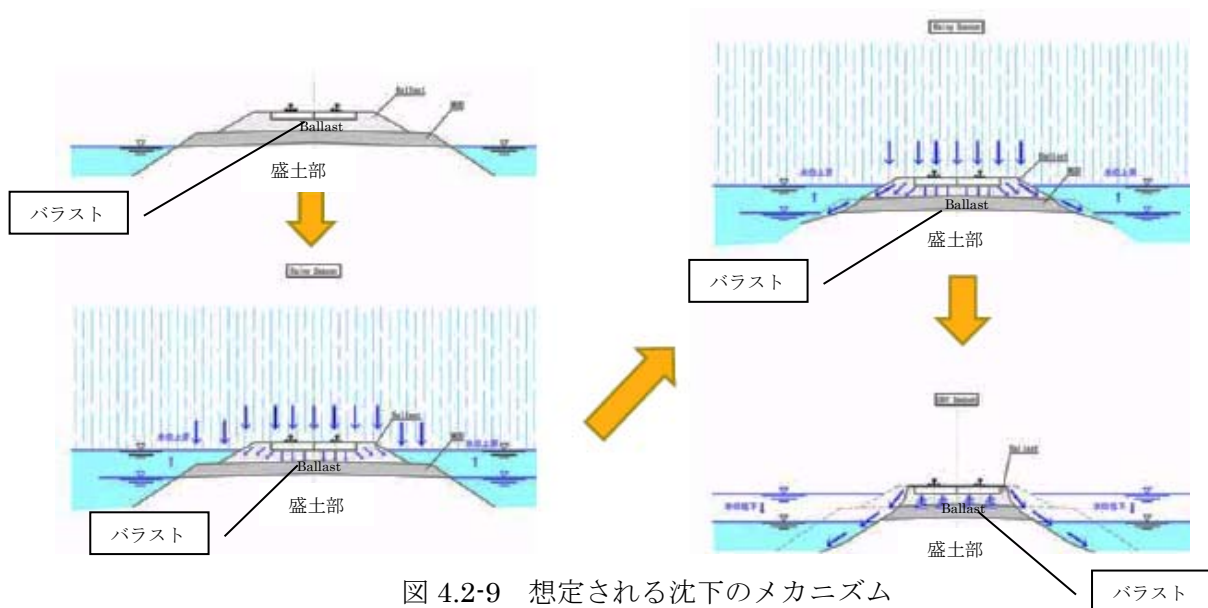
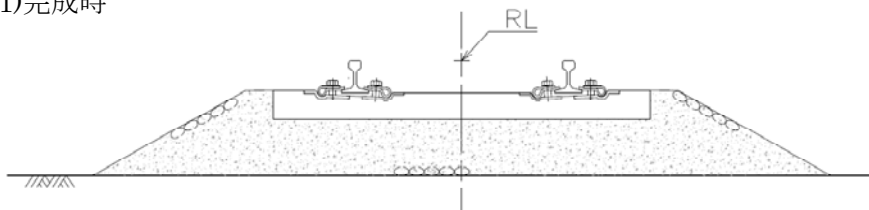


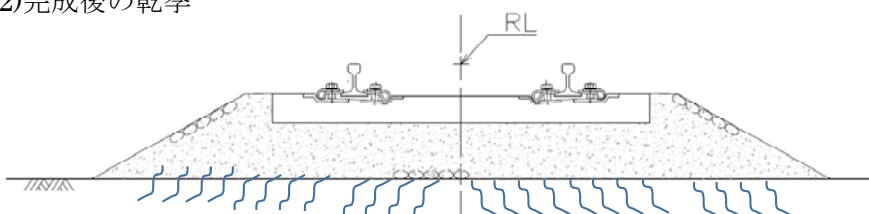
図 4.2-9 想定される沈下のメカニズム

従来の噴泥対策

(1)完成時

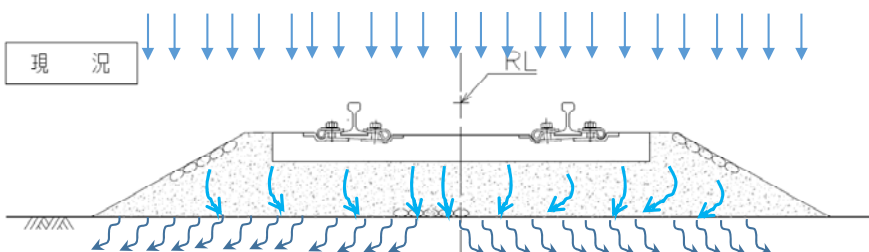


(2)完成後の乾季

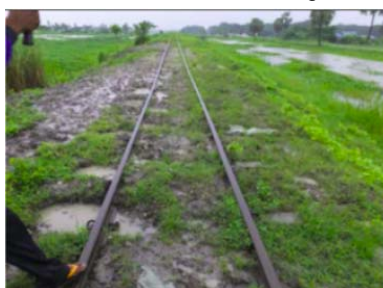


乾季に路床（粘性土）の乾燥収縮により細かいひび割れが発生する

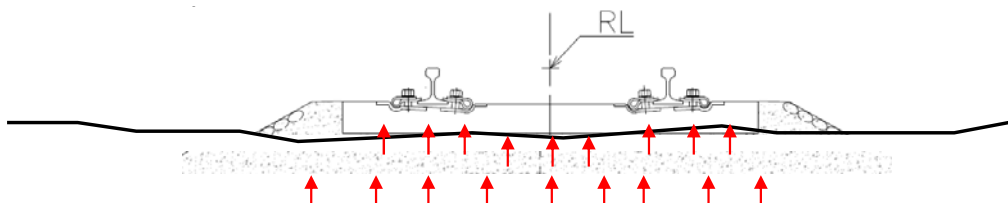
(3)雨季の雨水の浸水



雨季に路床のひび割れに雨水が浸透し、地盤が軟弱になる



(4)噴泥によりバラストが地盤に沈み込む



列車通行時の振動が噴泥を引き起こす。
噴泥によりバラストは地面に沈み込み、泥が地表に現れる。

図 4.2-10 現地の噴泥発生メカニズム（写真左側：2016年8月、右側：2016年11月）

② 期待される効果

D-Boxには、地盤内の排水促進と局所荷重に対する分散化、D-Box下の土の側方変形の拘束、振動抑制効果などが期待される。各項目に対する具体的な機能として以下が挙げられる。

- A) 排水促進：軌道上に振る雨をより効率的に排水することで、路盤部分の軟弱化を抑制する（バラスト食い込み防止）。

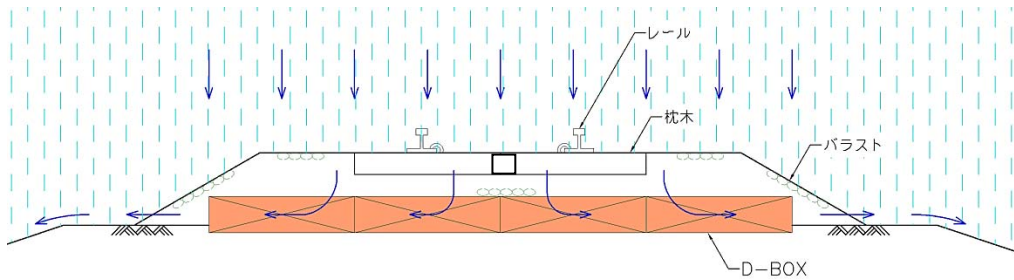


図 4.2-11 排水促進

- B) 荷重の分散化：D-Boxは、第3章の設計マニュアルで前述したように、①広範囲に分散化が進む事、②D-Boxシートの引張力により拘束された中詰材のせん断抵抗力向上で、作用荷重を分担する。③軟弱地盤の排水効果により、圧密された表層地盤の支持力向上（局部圧密効果）により支持力向上が図られる。

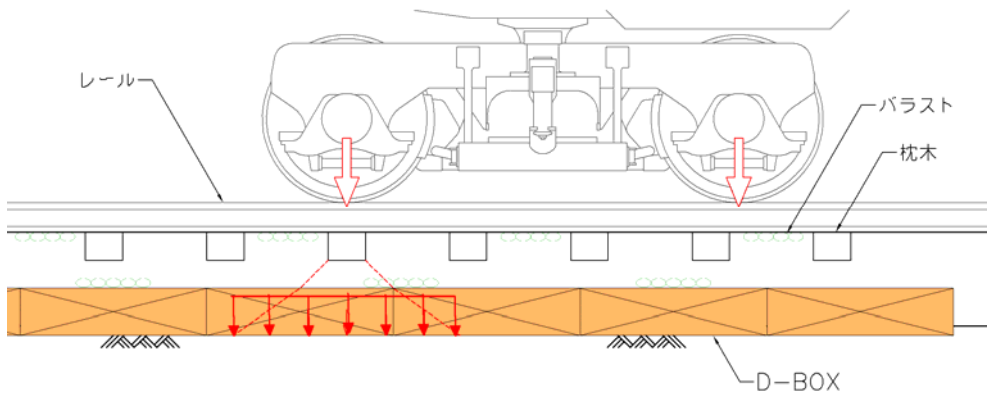


図 4.2-12 荷重の分散化

- C) 側方変形の抑制拘束：D-Box は、柔軟性を持ち凹型の下面側は、上部からの荷重により土を抱え込み、側方への変形が抑制される。そのため、水位低下時においても D-Box 下の地盤は、崩壊しないと予想される。

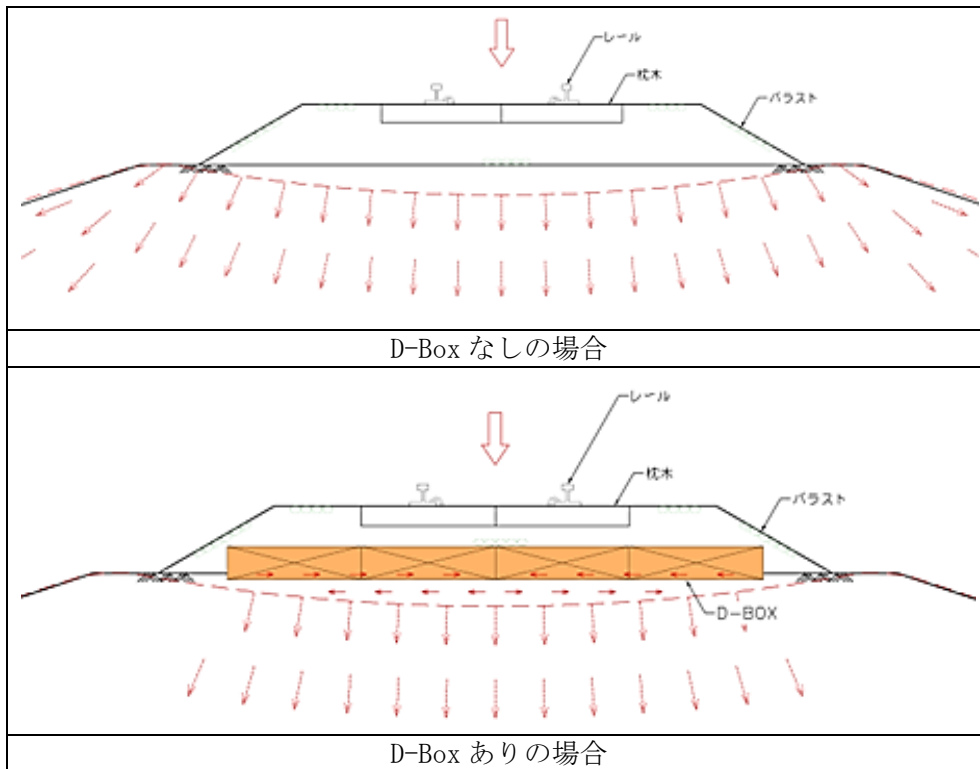
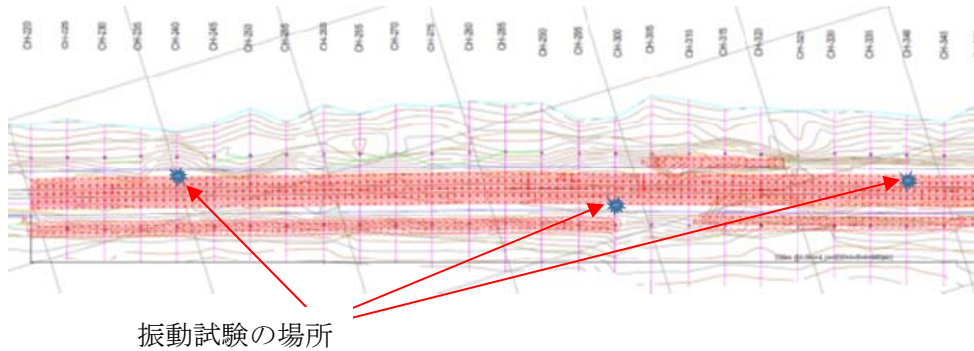


図 4.2-13 D-Box の底面形状による内部土の抱え込みによる鉛直荷重の低減効果

4.2.4 振動抑制効果

- A) 振動抑制：軌道通過時に D-Box が緩衝材となり、周辺への振動の抑制や列車の乗り心地の向上に繋がる。

(ア) 振動試験実施場所 (CH220、CH300、CH 340)



設置場所
軌道中央から 1.5m の地点 (レールから 1.0m の地点) にコンクリートブロックを設置

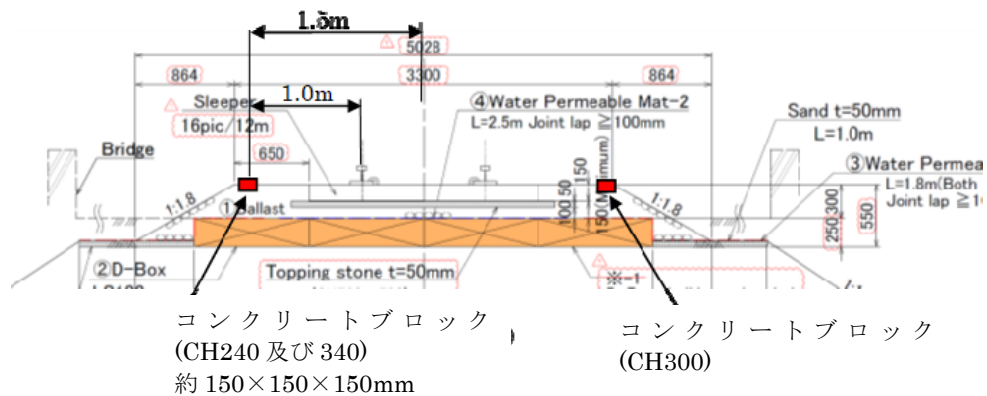


図 4.2-15 振動試験用センサー設置位置 (赤印のコンクリートブロック)

(イ) 振動試験結果 (複数種類の振動を計測)

表 4.2-1 振動の周波の種類及び人へ影響する周波数 (Hz)

方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動の周波の種類	縦波	横波	表面波
振動の周波の方向	列車の進行方向と同じ	列車の進行方向に対して垂直	縦方向
人へ影響する周波数	1~2 Hz	1~2 Hz	4~12.5 Hz

表 4.2-2 振動試験の場所、日付、速度

日付	CH340 (左側)	CH300 (右側)	CH240 (左側)
2017年2月15日	30 km/hr	30 km/hr	30 km/hr
2017年4月4日	31 km/hr	29 km/hr	31 km/hr
2017年6月12日	32 km/hr	32 km/hr	32 km/hr
2017年9月20日	31 km/hr	31 km/hr	30 km/hr
2018年2月8日	30 km/hr	30 km/hr	30 km/hr
2018年5月2日			

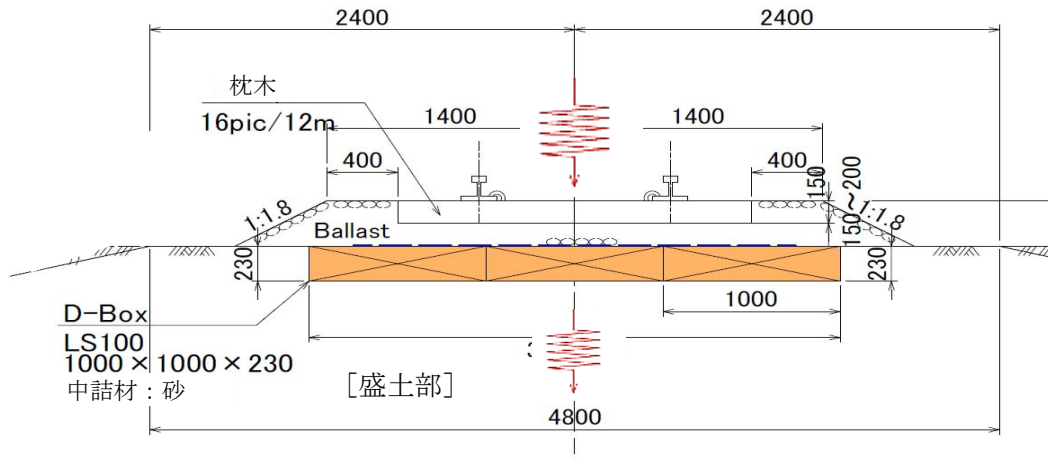


図 4.2-16 D-Box による振動低減のイメージ



図 4.2-17 振動試験のイメージ (2017年2月15日)

4.3 D-Box 製作方法

4.3.1 D-Box の製作時の留意点

D-Box の製作方法としては、図 4.3-1 に示すように LS-150 (1.5 m×1.5 m×0.45 m) と LS100 (1.0 m×1.0 m×0.25 m) の 2 種類を対象とする。なお、LS-100 には、日本製とミャンマー製があり、日本製はオレンジ色でマジックテープで留めるのに対し、ミャンマー製 (黒) は、頃いロープで結んで留める。ここでは、ミャンマー製の D-Box を中心に説明する。

なお、D-Box の要求性能を満足するメトリー技術研究所の製品を購入することを基本条件とする。また、メトリー技術研究所株式会社がミャンマーにてパテント優先権を持っており、不法コピー製品は使用しないこと。

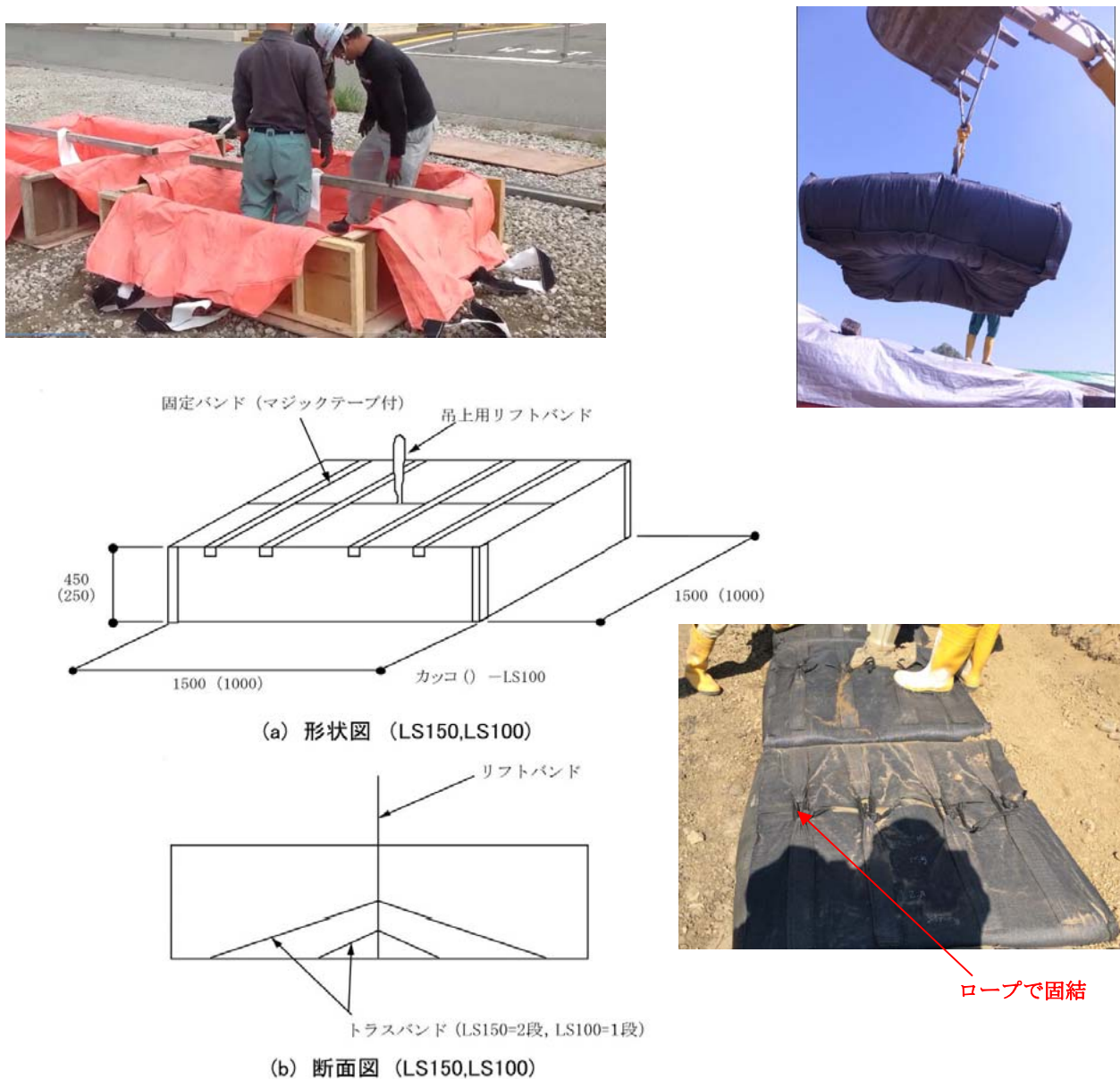


図 4.3-1 LS-100・LS-150 の形状図 (ミャンマー製は、マジックテープで無くロープで固結する)

4.3.2 D-Box の中詰材料の規格

D-Box の中詰め材は、沈下抑制、振動低減、噴泥対策等に使用する場合には、碎石や砂などの摩擦材料を使用することを基本とする。せん断強度 τ は、 $\tau = C + \sigma \tan \phi$ で表され、D-Box は、 σ が D-Box の締固めにより増大することにより、 τ が大きくなることから、 ϕ の大きい材料と締固めが D-Box のせん断強度の増加に大きな影響を与えることになる。

したがって、D-Box の中詰め材料は、表 4.3-1 に示す規格と用途とする。

表 4.3-1 D-Box の中詰め材料の規格と用途(対象は LS-100M とする)

用途	中詰材料	詳細	備考
<ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道部下の噴泥対策、 ・ 軟弱地盤対策、 ・ 振動対策 	砂	粒径 0.075mm～2mm とし、粒径 0.075mm は 5%未満とする。	シルト分と粘土分が入らないもの
<ul style="list-style-type: none"> ・ 軟弱地盤対策、 ・ 噴泥対策、 ・ 振動対策 	バラスト	C 40-0 C 30-0 M-40	砂分が含まれていてもよい。 効果は砂よりも高い。
手作業のみによる既往路線の補強/復旧作業 噴泥対策	現地発生土	現場のバラストのみ使用	既往の軌道の下地盤には、バラスト や砂等が含まれていることから、その材料を使用する。

4.3.3 D-Box の製作ヤード

D-Box の製作ヤードの最小必要幅は、図 4.3-2 に示すように、5m×4m であるが、D-Box の仮置数量は、9 個程度であり、仮置数が多い場合には、面積を増やす必要がある。なお、バックホウのサイズは、LS-100 の場合には、重量が約 0.5t であり、0.15～0.28 m³ バケツ、LS-150 の場合には、重量が約 1.9t あることから、バックホウのサイズは 0.28～0.5 m³ バケツが必要である。

なお、ヤードは平坦な場所とする。

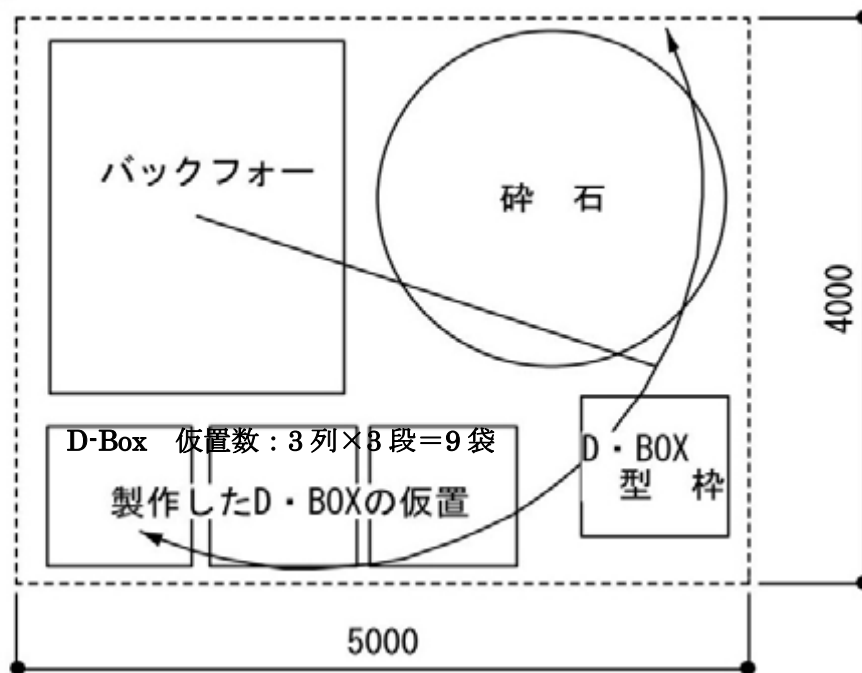
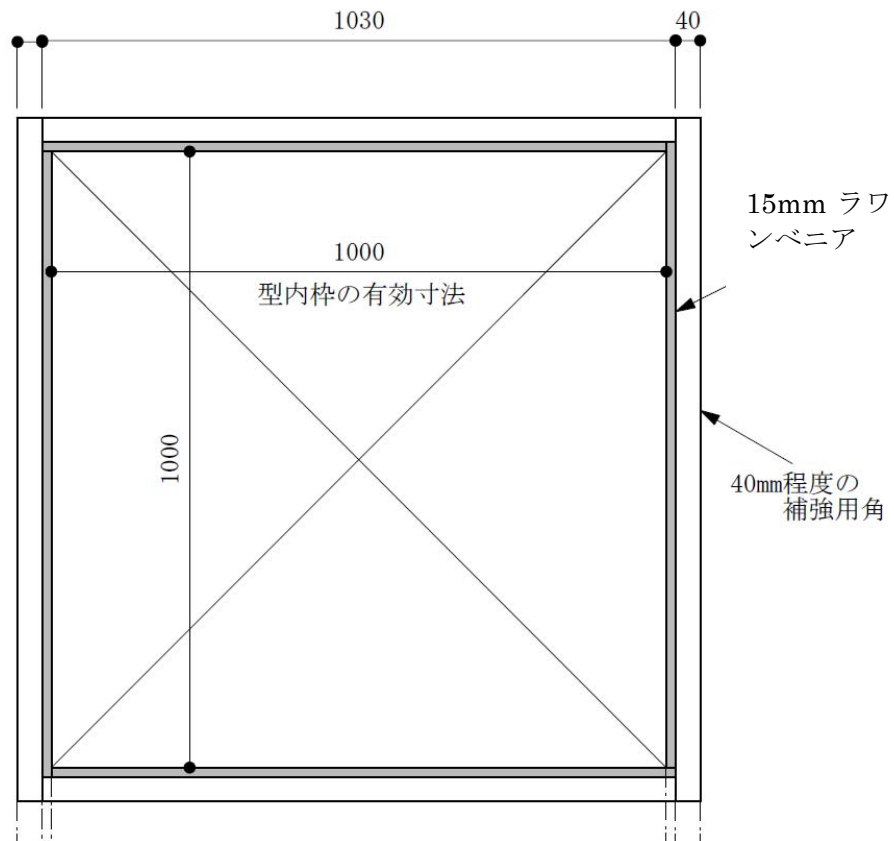


図 4.3-2 D-Box の製作ヤードの最低必要面積 (5m×4 m)

4.3.4 型枠

D-Boxの型枠は、内寸法をD-Boxの形状と同じとする。図4.3-3 LS-100と図4.3-4にLS-150の型枠形状を示す。

(1) LS-100 (LS-100M)



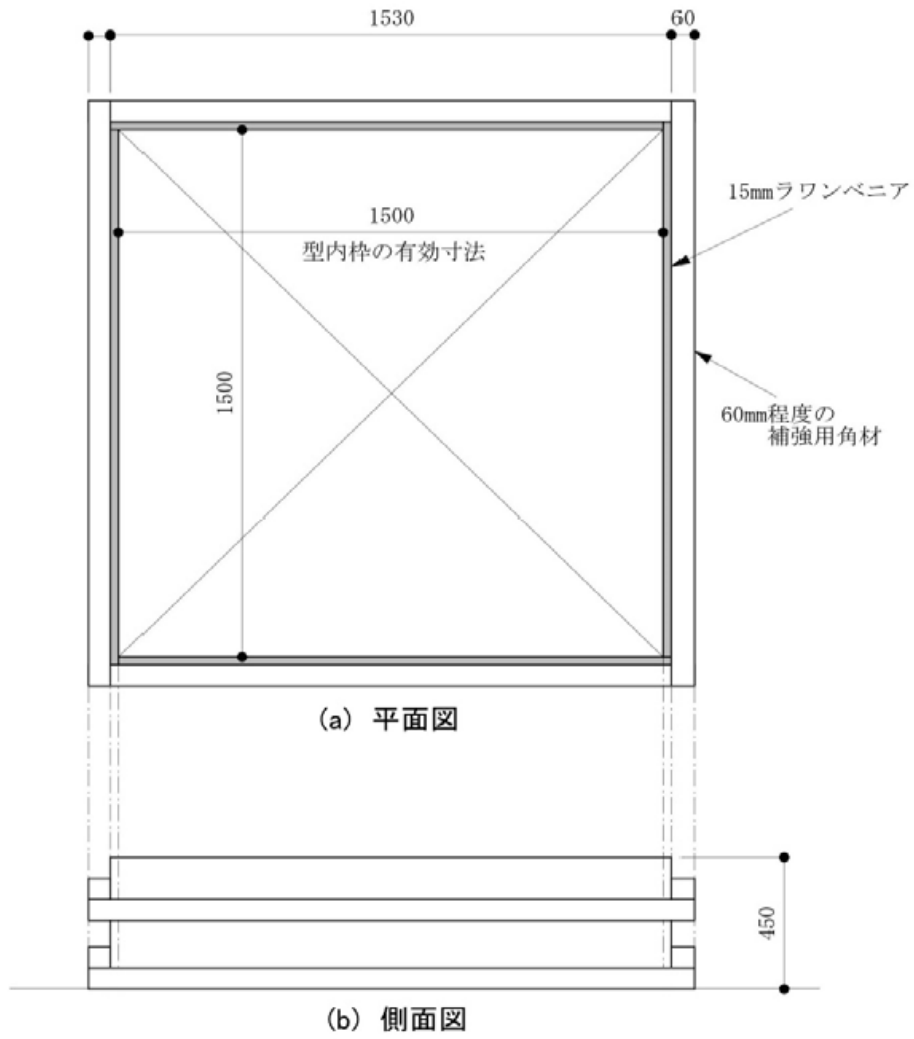
D-Box LS-100 の型枠 (1000*1000*250mm)

製作数量に合わせて型枠を用意。



図 4.3-3 LS-100 型枠加工図

(2) LS-150



D-Box LS-150 の型枠 (1500*1500*450mm)
製作数量に合わせて型枠を用意。



図 4.3-4 LS-150 型枠加工図

4.3.5 製作手順

D-Box の製作手順と留意点を表 4.3-2 に示す。

D-Box 製作時のチェックポイント

表 4.3-2 D-Box 製作時のチェックポイントと詳細 (その 1)

Item	Check Points	Details
Set D-Box (bag) to the Formwork	<ul style="list-style-type: none"> ● Accuracy of the Formwork 	<ul style="list-style-type: none"> ● Be sure to use specific Formwork. ● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork. ● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc.
Filling	<ul style="list-style-type: none"> ● Volume of the filling material (inside material) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Filling work should be divided into a few times. ● Pull flaps of the bag to upward after first filling or second filling. Be sure to grab base of the flaps. This action make closing work easy. ● In case the filling material is gravel, filled gravel should be trampled down each time. Gravel should be installed into the bag until the level of gravel reach to the level of top of the Formwork. Gravel is not easily fill the corner of the bag. Thus, be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag. ● Level the top of the filling material by hand or by shovel.

表 4.3-2 D-Box 製作時のチェックポイントと詳細 (その 2)

Item	Check Points	Details
Closing	<ul style="list-style-type: none"> ● Position of the tie rope 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rope should be correctly meet with corresponding flap. Close the closing band not to cause opening.
Lifting	<ul style="list-style-type: none"> ● Safety check 	<ul style="list-style-type: none"> ● Use wire with hook to lift the D-Box. ● Set the hook to the lifting band of the D-Box. ● Be sure to select wire with hook which load capacity is appropriate.
Note:		<ul style="list-style-type: none"> ● In case the Formwork follows D-Box at the Lifting, step the top of the Formwork not to cause lifting of the Formwork. ● Fabricated D-Box can be piled up. In case you need to pile up the fabricated D-Box for temporary, be sure to follow the limit of piling up for temporary. Limit of temporary piling up is: <ul style="list-style-type: none"> ➤ D-Box LS100: 4 layers ➤ D-Box LS150: 3 layers

日本製の D-Box は、1 日あたり 120 袋の製作が可能である。

表 4.3-3 D-Box の製作手順概要（日本製 120 袋/日）

<p>Formwork</p> 	<p>Set the D-Box (bag) into the Formwork</p> 	<p>After filling</p> 	<p>Closing & Lifting</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ● Set the Formwork onto leveled ground. 	<ul style="list-style-type: none"> ● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork. ● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag. ● Level the top of the filling material by hand or by shovel. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Close the closing band not to cause opening. ● The lifting band is doubled structure. Be sure to set hook to doubled lifting band.

ミャンマー製 D-Box は 1 日あたり 80 袋の製作が可能である。

表 4.3-4 D-Box の製作手順概要 (ミャンマー製 80 袋/日)

<p>Formwork</p> 	<p>Set the D-Box (bag) into the Formwork</p> 	<p>After filling</p> 	<p>Tie & Lifting</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ● Set the Formwork onto leveled ground. 	<ul style="list-style-type: none"> ● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork. ● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag. ● Level the top of the filling material by hand or by shovel. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tie the closing band not to cause opening. ● The lifting band is doubled structure. Be sure to set hook to doubled lifting band.

4.3.6 D-Box 製作歩掛 (productivity)

D-Box の製作コストは、図 4.3-5 に示すように、ミャンマー製の D-Box を使用し、且つ中詰材を砂とすることで、1袋あたりの製作費用は、D-Box の材料費込で約 3,280MMK となり、中詰に Ballast を使用した場合の、約 80% のコストで収まることになる。D-Box を用いた極限支持力試験結果から中詰材が砂の場合でも、極限支持力は直接バラストを敷いた地盤に比べ約 3 倍となることから、D-Box の利用に当たっては、ミャンマー製の D-Box で中詰材を砂とすることを基本とする。

なお、各ケースの歩掛と直接工事費の内訳は表 4.3-5～8 に示すとおりであり、日本製の D-Box を使用した場合には、マジックテープによる締め付けが可能であり時間が短縮できることから 120 袋/日の製作が可能であることを Ainme のプロジェクトにて確認している。一方、ミャンマー製の D-Box はマジックテープの代わりにロープにて結ぶため、D-Box の製作は 80 袋/日と約 2/3 となる。

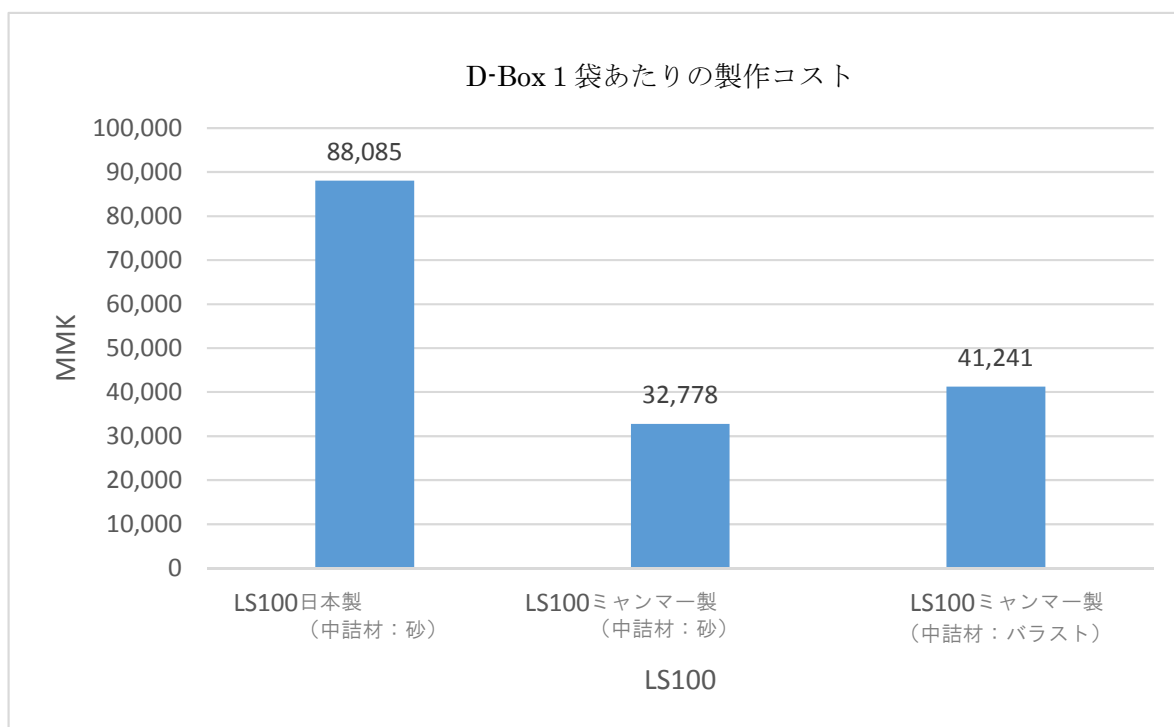


図 4.3-5 D-Box の製作コスト比較 (D-Box 材料費込)

表 4.3-5 LS-100 (日本製：中詰材：砂) 120 袋/日 (88,085MMK/袋)
1USD=1,354MMK=113JPY

Table 5.3-5 LS100(Sand Japan made)中詰め120袋当たり 1USD=1354MMK=¥113

NO	Work Item	detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)	Amount(MMK)	Remark
1	中詰 (LS100)	作業員	9	man	6,000	54,000	
	砂	オペレータ	1	man	10,000	10,000	
		バックホー補助	1	man	6,000	6,000	
		世話役	1	man	10,000	10,000	
		砂120*0.25*1.2	36	m ³	3,540	127,440	
		砂運搬(片道10km)	36	m ³	2,120	76,320	10km/one way
		D-Box(LS100)日本製	120	bag	83,720	10,046,400	¥7000/bag
		バックホー(0.2m ³)	1	set	200,000	200,000	
		バックホー(0.2m ³) Mobilization/Demobilization	0.1	time	400,000	40,000	作業日数10日間の場合を想定
		total				10,570,160	120袋あたり
						88,085	1袋あたり
						4,365	1袋あたり(D-Box支給の場合)

表 4.3-6 LS-150 (日本製：中詰材：砂) 45 袋/日 (169,383MMK/袋)
1USD=1,354MMK=113JPY

Table 5.3-6 LS150(Sand Japan made)中詰め作業の歩掛 1USD=1354MMK=¥113 45袋当たり

NO	Work Item	detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)	Amount(MMK)	Remark
1	中詰 (LS150)	作業員	9	man	6,000	54,000	
	砂	オペレータ	1	man	10,000	10,000	
		バックホー補助	1	man	6,000	6,000	
		世話役	1	man	10,000	10,000	
		砂45*1.0*1.2	54	m ³	3,540	191,160	
		砂運搬(片道10km)	54	m ³	2,120	114,480	10km/one way
		D-Box(LS100)日本製	45	bag	155,480	6,996,600	¥13000/bag
		バックホー(0.2m ³)	1	set	200,000	200,000	
		バックホー(0.2m ³) Mobilization/Demobilization	0.1	time	400,000	40,000	作業日数10日間の場合を想定
		total				7,622,240	120袋あたり
						169,383	1袋あたり
						13,903	1袋あたり(D-Box支給の場合)

表 4.3-7 LS-100M (ミャンマー製：中詰材：砂) 80 袋/日 (32,778MMK/袋)
1USD=1,354MMK=113JPY

Table 5.3-7 LS100M(Sand Myanmar made)中詰め作業の歩掛 1USD=1354MMK=¥113 80袋当たり

NO	Work Item	detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)	Amount(MMK)	Remark
1	中詰 (LS100)	作業員(worker)	9	man	6,000	54,000	
	砂	オペレータ(operator)	1	man	10,000	10,000	
		バックホー補助(wather)	1	man	6,000	6,000	
		世話役(Foreman)	1	man	10,000	10,000	
		sand 80*0.25*1.2	24	m ³	3,540	84,960	
		砂運搬(片道10km)	24	m ³	2,120	50,880	10km/one way
		D-Box(LS100) Myanmar製	80	bag	27,080	2,166,400	\$20/bag
		バックホー(0.2m ³)	1	set	200,000	200,000	
		バックホー(0.2m ³) Mobilization/Demobilization	0.1	time	400,000	40,000	作業日数10日間の場合を想定
		total				2,622,240	80袋あたり
						32,778	1袋あたり
						5,698	1袋あたり(D-Box支給の場合)

表 4.3-8 LS-100M (ミャンマー製：中詰材：バラスト) 80 袋/日 (41,241MMK/袋)
1USD=1,354MMK=113JPY

Table 5.3-8 LS100(Ballast Myanmar made)中詰め作業の歩掛 1USD=1354MMK=¥113 80袋当たり

NO	Work Item	detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)	Amount(MMK)	Remark
1	中詰(LS100)	作業員	9	man	6,000	54,000	
	Ballast	オペレータ	1	man	10,000	10,000	
		バックホー補助	1	man	6,000	6,000	
		世話役	1	man	10,000	10,000	
		Ballast 80*0.25*1.2(including transportation)	24	m ³	33,870	812,880	40km/one way
		D-Box(LS100)日本製	80	bag	27,080	2,166,400	\$20/bag
		バックホー(0.2m ³)	1	set	200,000	200,000	
		バックホー(0.2m ³) Mobilization/Demobilization	0.1	time	400,000	40,000	作業日数10日間の場 合を想定
		total				3,299,280	80袋あたり
						41,241	1袋あたり
						14,161	1袋あたり(D-Box支給 の場合)

4.4 軌道面下部敷設方法(バックホウ使用時)

4.4.1 軌道断面の基本形状

重機（バックホウ）使用時の軌道の基本断面は、図 4.4-1 に示すとおりであり、D-Box は 1 段 3 列で、盛土基礎部へ埋め込むものとする。枕木との間隔は 150mm、盛土基礎部（Foundation Bank）の幅は 4.8m とする。

なお、D-Box 内の水圧は、トラスバンドによる圧縮や、タンパーによる転圧により、過剰間隙水圧となっているため、内部から外へ排水されることはあっても、D-Box 内部にそれ以上の雨水が浸透することは無いため、パイプによる排水設備は不要である。また、雨水が浸透した場合には、底面が粘性地盤である場合には、D-Box 内部が飽和状態になった段階で、D-Box 内部には、雨水は入らず、上面のバラスト部で雨水は排水されることになる。

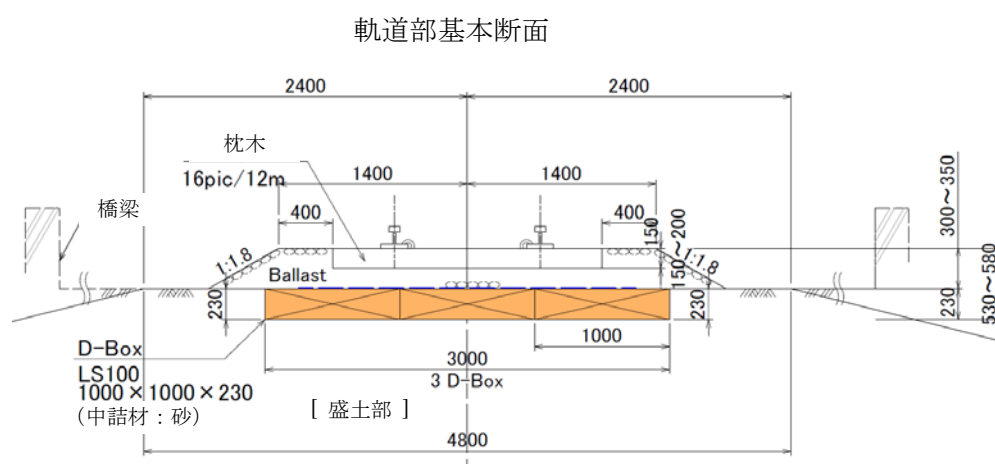


図 4.4-1 軌道部基本断面

4.4.2 施工方法

列車が運行していない場合の施工方法を以下に示す。なお、列車が運行している場合には、後述する手作業による施工を参考とすること。

(1) 軌道部 D-Box 敷設フロー

軌道の施工は、1 サイクル約 60m～70m とし、図 4.4-2 に示す施工フローに従い実施する。図 4.4-3 にフロー図に即した写真を示す。

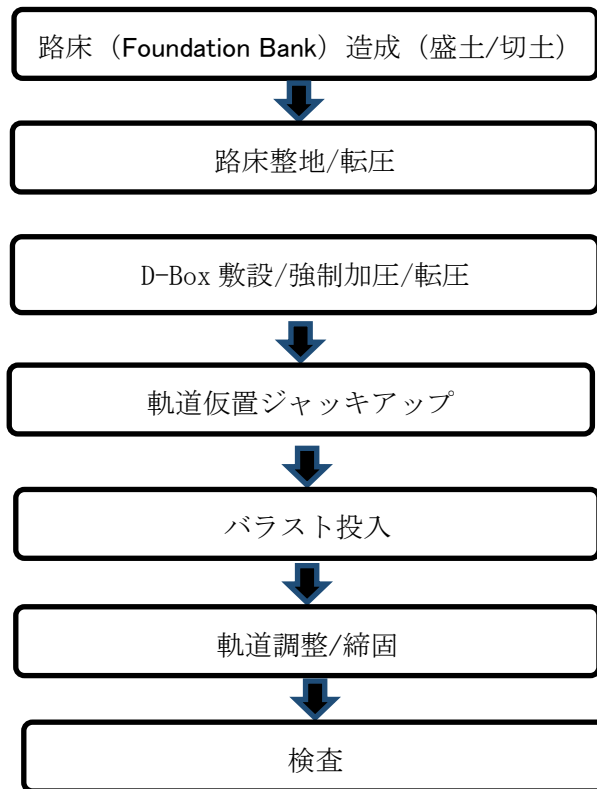


図 4.4-2 軌道部 D-Box 設置フロー





	
<p>レールの撤去</p>	<p>路床の切り盛り及び転圧</p>
	
<p>D-Box 敷設</p>	<p>60kg ランマーによる転圧 透水性シートの設置 レールの仮設置</p>
	
<p>レールのジャッキアップ及びバラスト充填</p>	<p>レールの調整 / タンパーによる転圧</p>
	
<p>ランマーによるバラストの転圧</p>	<p>レール高と幅の確認・調整</p>

図 4.4-3 軌道面下部 D-Box 敷設方法 (バックホウ使用時)

4.4.3 D-Box の強制加圧

路床への D-Box 埋込方法は、地盤条件により次のように施工を行うものとする。なお、地盤の支持力は第 3 章にて示した計算式を用いて安全性を確認し必要な地盤への D-Box の押込み量を算出し、強制加圧を行なうものとする。

支持力が不足する場合には、D-Box を 2 段にするなどして所定の地盤強度を確保する。

なお、乾季に施工する場合に D-Box を設置する原地盤が乾燥しているばあいには、地盤が乾燥収縮による間隙や転圧不足による空隙が無いように十分に散水を行い転圧を行ない、D-Box が所定の押込量に達することが出来るようにする。

(1) 路床の地盤が軟弱(雨季)な場合の施工方法【強制加圧方法】

① バックホウによる強制加圧

D-Box は設置後、D-Box の中央でバケットの背面を使って全体的に加圧し、ゆっくりと数回圧入し、D-Box がこれ以上地盤に入らなくなるまで、繰り返すことを基本とする。

しかし、各加圧解除後に D-Box が浮き上がりながら元に戻ろうとする場合には、過剰な水圧が D-Box の凹型の底面に残っているため、それ以上の加圧を避け、2 時間程度後に、水圧が抜けて再度の加圧が可能となるので、再加圧を繰り返し、これ以上地盤に入らないところまで加圧する。



図 4.4-4 バックホウによる強制加圧

② ランマーによる強制加圧

バックホウによる強制加圧後、D-Box 内部の砂（またはバラスト）を締め固めるため、ランマーによる転圧を行なう。

転圧方法は、ランマーを中央から外側へ渦巻き状で 2 回繰り返して、D-Box の表面の生地に張りが出るまで 1 袋ずつ転圧を行なう。



図 4.4-5 ランマーによる加圧

(2) 路床 の地盤が強固(乾季)の場合

地盤が強固な場合には、図 4.4-6 に示すように、路床を掘削し十分に水を撒いた後に、D-Box を埋込むものとする。

D-Box 敷設後は、中詰め材が乾燥していることから、D-Box に水が溢れるまで十分な水を内部に入れ、飽和状態になった後にバックホウによる強制加圧を行ない、その後、ランマーによる転圧を行なうものとする。



図 4.4-6 乾季による路床の掘削と D-Box の設置及びランマーによる転圧状況

表 4.4-1 D-Box 敷設工の作業手順と管理項目

施工項目	作業手順/管理項目
D-Box 敷設	① D-Box の吊上げは 2 本のリフトバンドにフックをかける所定位置に設置する。
強制加圧（軟弱地盤の場合）及び転圧	① バックホウによりゆっくり加圧し D-Box を所定の深さまで挿入する。 ② ランマーにより十分転圧する。
強制加圧（固い地盤の場合）及び転圧	① 十分に水を撒いた後に、D-Box に水を入れた後、バックホウにより D-Box の表面をゆっくり加圧する。 ② ランマーにより十分転圧する。
チェックポイント	① D-Box 間に隙間がないことを確認する。 (隙間は砂で埋める)

4.4.4 1 スパン(L=12m)の施工に必要な時間

軌道部の D-Box 敷設施工手順は、図 4.4-7 のスケッチに示すように、列車の通行が無い場合を想定したものである。

列車の通行がある場合には、施工が可能な作業時間により、D-Box の敷設距離が、次の作業時間を考慮して決定する。

表 4.4-2 の必要時間の算定は、Ainme のプロジェクトの実際の例を基に、時間を算出した。その結果、12mの軌道を完成させるのに必要な時間は、20.8 時間 (208/8 時間=2.6 日必要となる。したがって1日1往復程度で8時間以上の間隔で列車が運行している場合には、1/3 (4 m 程度) づつの施工 (3 袋/ m) となる。それよりも列車の運行が短い場合には、手作業による D-Box の敷設工事 (4 m /日 : 2 袋/ m) となる。

表 4.4-2 D-Box 敷設作業に必要な時間

	作業項目	作業員数	機材	材料	必要時間 (hr)	備考
1	レールの撤去(レール延長=12m)	10			1	枕木16個を含む
2	路床の切り盛り及び転圧	4	バックホウ(0.2m ³)、RGC	盛土	8	12m レベル±5cm
3	D-Box敷設	6	バックホウ(0.2m ³)、RGC	D-Box 3袋/m ×12m	3	3×12=36袋
4	ランマーによる転圧 透水性シートの設置 仮設レールの仮設置	4	60kgランマー	D-Box 3袋/m ×12m	1.8	3分/袋
5	レール設置	10		枕木16個	2	枕木の設置
6	レールのジャッキアップ及び調整	8	ジャッキ4個、レベル、レールゲージ		2	12m 測量士
7	バラスト充填	10	RGC	バラスト 1.4m ³ /m×12m= 16.8m ³		1.4m ³ /m
8	レールの調整 / タンパーによる転圧	8	タンパー2台	L=12m	2	2班
9	レール高と幅の確認・調整	4		L=12m	1	
合計時間					20.8	20.8/8=2.6日

4.4.5 施行手順フローのイメージ図

既存の軌道部撤去から D-Box 敷設し、バラスト投入までの施行フローを図 4.4-7 に示す。

4.4.6 軌道面下部 D-Box 敷設時の歩掛及び概算工事費

Ainme でのプロジェクトの実績より、D-Box の 120 m あたりの敷設作業の歩掛と概算工事費は表 5.4-3 に示すように、120 m あたりの直接工事費は約 23,000,000MMK であり、1m あたりでは、約 192,000MMK (約 \$ 142/m) となる。この場合は、ミャンマー製の LS-100M に中詰に砂を使用した場合の概算工事費である。

表 4.4-3 LS-100M (ミャンマー製、中詰材：砂) を 120m に敷設する際の概算工事費 (192,335MMK/m)

Table 5.4-3 LS100M(Sand Myanmar made) Installation work 1USD=1354MMK=¥113							L=120m
NO	Work Item	detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)	Amount(MMK)	Remark
1	Rail Removal work	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	
2	Sleeper removal work	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	
3	Cut material	作業員(worker)	5	man	6,000	30,000	
4	Fill Material	作業員(worker)	5	man	6,000	30,000	
5	Installation of D-Box	作業員(worker)	6	man	6,000	36,000	
6	Compaciton work	作業員(worker)	5	man	6,000	30,000	10km/one way
7	Installation of Sleeper temporary	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	\$ 20/bag
8	Installation of Rail Truck temporary	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	
9	Fill Ballst	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	Total 10 working days
10	Adjustment of rail truck	作業員(worker)	16	man	6,000	96,000	
11	Tamping of ballast	作業員(worker)	8	man	6,000	48,000	for 80bags
12		Forman	10	man	10,000	100,000	
13		Back-hoe 8t(0.2m3)	10	set	230,000	2,300,000	including operator/watchman, mobilization / demobilization
14		RGC(rail Gang Car)	10	set	70,000	700,000	Fuel only
15		Truck with 5t crane	10	set	160,000	1,600,000	including operator D-Box tranfer from the fabrication yard
16		tampin machine	20	set	2,000	40,000	free MR own Fuel only
17		rammera 60hg	10	set	10,000	100,000	
18		Ballast	168	m3	33,870	5,690,160	1.4m3/m
19		D-Box Fablication with sand	360	bag	32,778	11,800,080	Including sand ,3bags/m
20		D-Box mobilization	360	bag	0	0	0 by Truck with 5t crane
		totalL120m				23,080,240	For 120m
		total 1m				192,335	For 1m

4.5 重機が無い場合の軌道底面への D-Box 敷設工法(手作業)

4.5.1 基本形状

列車が運行している状況下で、人力のみによる MR の噴泥及び軟弱地盤の場所における軌道整備の基本形状を図 4.5-1 に示す。基本形状は既設の状態を考慮し、枕木の底面が原地盤と同様の高さになるように設置し、枕木と D-Box の間隔が 150mm 確保できる位置に D-Box を設置し、D-Box の両端は 0.5m の余裕を持って掘削しバラストにて埋め戻しを行なうものとする。

1 回あたりの設置延長は、4 m であり列車の通行がある場合でも作業可能な延長とした。

なお、D-Box は原位置で製作する。中詰材は現地で発生したバラストを使用すること。

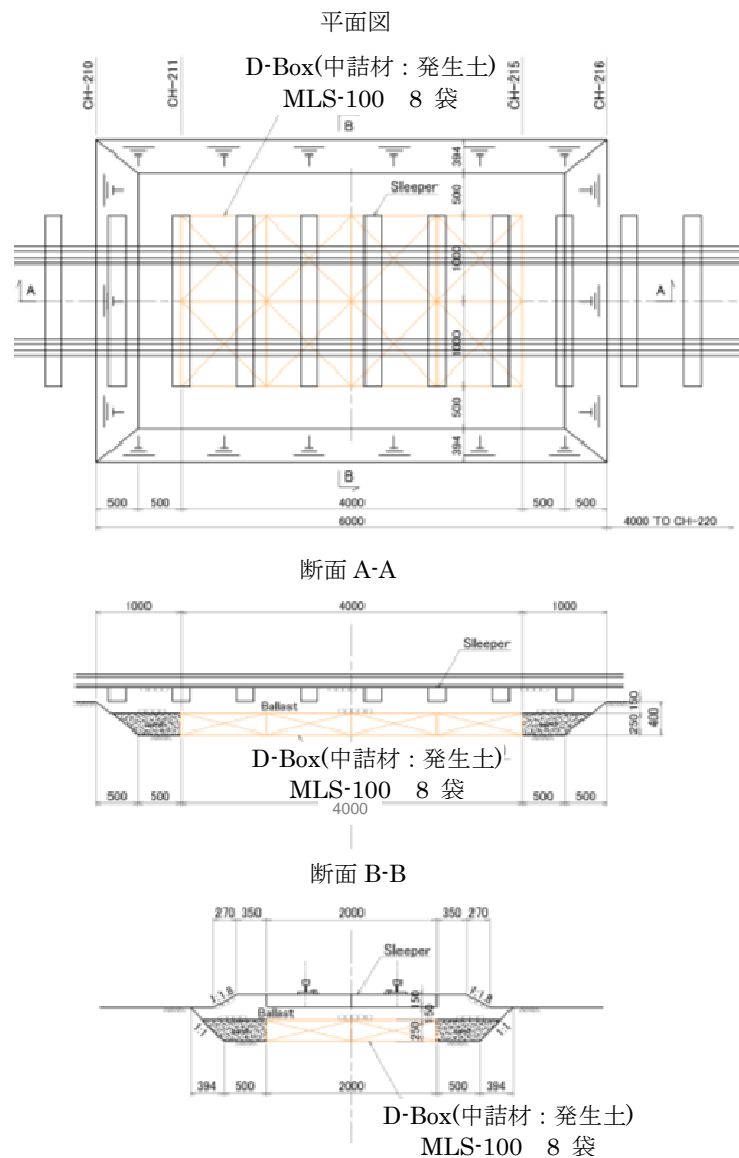


図 4.5-1 手作業のみによる基本断面 (4 m 施工を基本とする)

4.5.2 施工フロー

列車が運行している場合または、重機が無い場合の手作業による D-Box の施工フローは図 4.5-2 に示す通りである。

1 サイクルは 4 m を基本とする。

施工フローは次のとおりである。

- 枕木下部から 0.4m まで掘削し、枕木を外す（レールは残した状態）
- D-Box を 1 段 2 個並びで設置（中詰材は砂，またはバラスト）
- D-Box の締固は，重機が無いため，手製のランマーで転圧（転圧前に水分を十分 D-Box に含ませること）
- 埋め戻しは，現地で発生したバラストにて行なうこと。
- Ainme での実績は，作業員 12 名、世話役 1 名で午前 9 時～午後 6 時の正味 7 時間（昼休み 2 時間）で完了
- バラストの締固には、タンパーが必要である（JICA から MR へ供与した日本製タンパーを使用）。

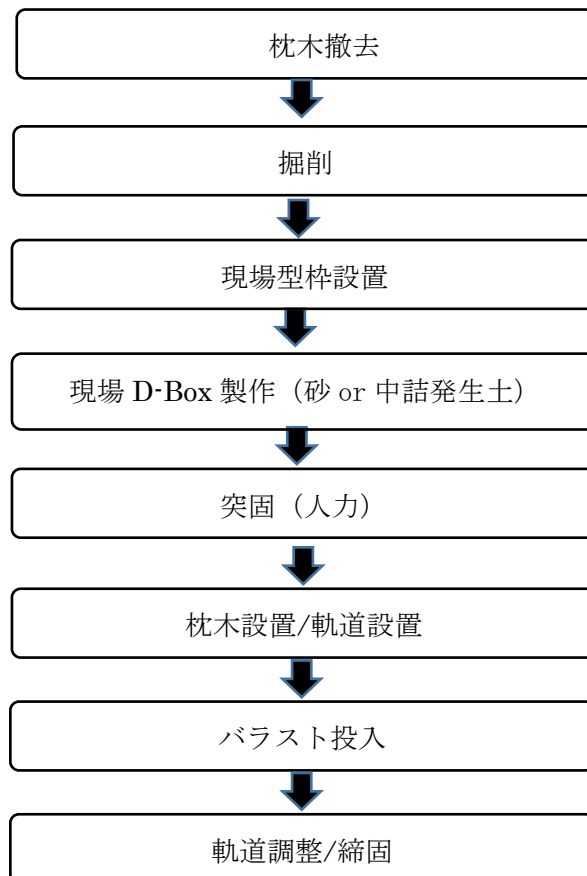
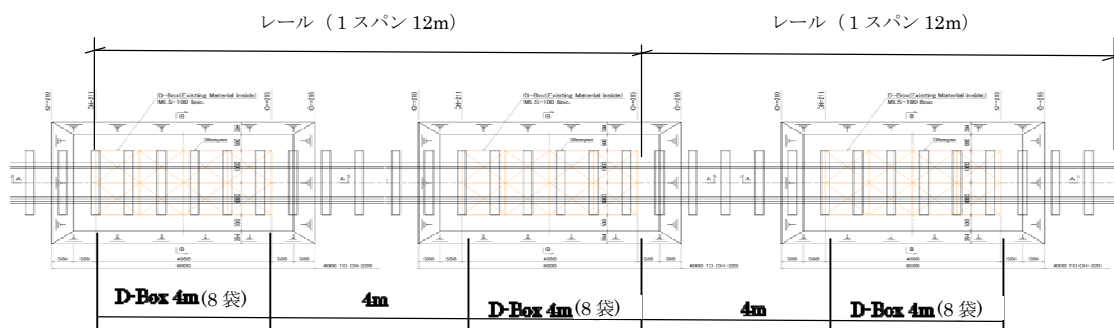


図 4.5-2 手作業による軌道部 D-Box 設置フロー

4.5.3 施工写真(Ainme の例)

	
<p>枕木撤去、掘削</p>	<p>現場 D-Box 製作 (中詰：発生土)</p>
	
<p>D-Box 設置完了</p>	<p>人力による転圧</p>
	
<p>バラスト投入</p>	<p>完成 (赤枠部が人力による施工後の状況)</p>



(手作業による施工は、列車の緊急復旧対応であることから、上図に示すように4m間隔でチドリで行なうものとする)

図 4.5-3 施工状況写真 (人力施工 4m : D-Box LS100M : 2 列×4 m : 8 袋)

4.5.4 概算工事費

手作業による D-Box の 1 日当りの施工は実績より 4 m とし、その際の直接工事費は表 4.5-1 に示すように 142,248MMK となる。D-Box 及びバラストが支給される場合には、約 88,000 MMK/m、 D-Box とバラストが支給される場合には、約 34,000MMK/m となる。

表 4.5-1 手作業のみによる D-Box 敷設作業の概算コスト

Table 5.5-2 BY Hand LS100M(Sand Myanmar made) Instal 1USD=1354MMK=¥113 L=4m

NO	Work Item	Detail	Quantity	unit	Unit Cost(MMK)/day	Amount(MMK)	Remark
1	掘削/D-Box設置/ 転圧/埋め戻し/ バラスト投入/レール 設置	鉄道作業員(worker)	12	man	6,000	72,000	Including removal of 6 sleepers
2	D-Box製作設置6 袋	型枠大工(Carpenters)	6	man	6,000	36,000	
3	全体監督	世話役(Foreman)	1	man	10,000	10,000	
4	Ballast	1.33m ³ /m × 4m × 1.2 = 6.4m ³	6.4	m ³	33,870	216,768	Ballast運搬40km(片道)含む
5	D-Box	8bags材料費のみ	8	bag	27,080	216,640	\$20/bag
6	Sand	D-Box中詰 V=0.25m ³ /bag V=0.25*8*1.2 =2.4m ³	2.4	m ³	5,660	13,584	10km/one way
7	Tamping Machine	Fuel only	2	set	2,000	4,000	Own by MR
		total L=4m				568,992	For 4m
		total L= 1m				142,248	For 1m
		In Case Ballast supplied by MR				88,056	Ballast Supplied byMR L=1m
		In Case D-Box & Ballast supplied by MR				33,896	D-Box & Ballast Supplied byMR L=1m

5. 軌道部の品質管理基準マニュアル

5.1 品質管理

D-Box の品質管理は次に示す形状や品質の検査を行い，所定の品質に達していることを確認すること

- 1) D-Box 用製作型枠
- 2) D-Box 中詰め材
- 3) D-Box 袋の規格と数量
- 4) D-Box 製作工
- 5) D-Box の試験施工による沈下量（予備加圧）の確認
- 6) D-Box 敷設工
- 7) D-Box 転圧工
- 8) 透水性補助シートの規格
- 9) 鉄道軌道基本断面形状

(1) D-Box 用製作型枠(対象 LS-100M)

表 5.1-1 D-Box LS-100M 用製作型枠の検査項目

検査項目	規格値 (mm)	許容値 (mm)	管理頻度	備考
型枠縦 (内幅W)	1000	±10mm	1 施工箇所 で 1 回 および, 200 袋毎 に 1 回	D-Box の破損を 避けるため、型枠 の内側に釘等の 突起物が無いこ とを確認する。
型枠横 (内幅L)	1000			
型枠高 (内幅H)	250			

(2) D-Box 中詰め材

表 5.1-2 中詰め材の検査項目

検査項目	規格値	規格範囲	管理頻度	備考
砂	ミルシート提出	シルト分 5%以下	初回搬入時	
バラスト C-40	ミルシート提出	MRの基準に準ずる	初回搬入時	ドロマイト、泥 岩等を含まな いこと
現地発生バラス ト	現地で判断：対象 は手作業による D-Box 敷設の場合	シルト分は入れな いこと	現場でエンジニア が 8 袋ごとに判断	バラスト以外 は使用不可

(3) D-Box の袋規格と数量

表 5.1-3 D-Box 袋の検査項目

検査項目	規格値 (mm)	許容値 (mm)	管理頻度	備考
型枠縦 (内幅W)	1000	±1%以内 工場の品質証明書 にて確認	1 施工箇所 で 1 回 及び、500 袋毎に 1 回	
型枠横 (内幅L)	1000			
型枠高 (内幅H)	250			

(4) D-Box 製作工

表 5.1-4 D-Box 袋の検査項目

検査項目	規格値 (mm)	許容値 (mm)	管理頻度	備考
型枠縦 (内幅W)	1000	±10%以内 -3%以内 現場にて確認	1 施工箇所 で 1 回 及び、200 袋毎に 1 回	中詰後の各側面 は、膨らみが生ず るが平均的な寸 法を計測する。
型枠横 (内幅L)	1000			
型枠高 (内幅H)	250			

(5) D-Box の試験施工による初期沈下量(予備加圧)の確認

表 5.1-5 D-Box の初期沈下量 (予備加圧) の検査項目

検査項目	対象地盤	対応	管理頻度	備考
D-Box の初期沈下量(施工時の断面の確認)	超軟弱地盤 (靴が 2~3cm 以上沈む地盤) において、どの程度初期段階で D-Box が地盤に食い込むかを確認する。	1) 試験施工時に D-Box を敷設し、表面を設計荷重以上の加圧を行い (バックホウのバケットでの圧入等) した時の沈下量を確認する。 2) 3 時間後に同様の荷重を載荷させ再度沈下量を確認する。	1 施工箇所 で 1 回 実施	1) 合計の圧入量を確認し、圧入量を反映した施工図面の作成を行う。

(6) D-Box 敷設工

表 5.1-6 D-Box 敷設工の検査項目

検査項目	規格値	規格範囲	管理頻度	備考
D-Box の高さ D-Box の幅 D-Box の施工延長	設計図面	高さ±20mm ● 幅：現場条件により技術者が判断 ● 延長：現場条件により技術者が判断	施工延長 20m 毎に 1ヶ所、それより短い場合には、1 施工箇所毎に 1 回計測	

(7) D-Box 転圧工

表 5.1-7 D-Box 転圧工の検査項目

検査項目	規格値	規格範囲	管理頻度	備考
D-Box 上面転圧	ランマー (60kg) による 転圧の確認 ● D-Box の中央から外側に向かって袋を伸ばすように転圧する。	1 袋につき、2 回の転圧作業を連続して行なう。	施工延長 100m ごと一回、それ以下の場合には、1 施工箇所毎に 1 回	

(8) 透水性補助シートの規格

表 5.1-8 透水性補助シートの検査項目

検査項目	規格値	規格範囲	管理頻度	備考
D-Box に用いる補助シート	引張り強度 1,200N/5cm 以上	ポリプロピレン (pp) または、ジオテキスタイル (geotextile)	納品時にミルシートを提出	透水性シート (Water Permeable Sheet) とする。

(9) 鉄道軌道基本断面形状

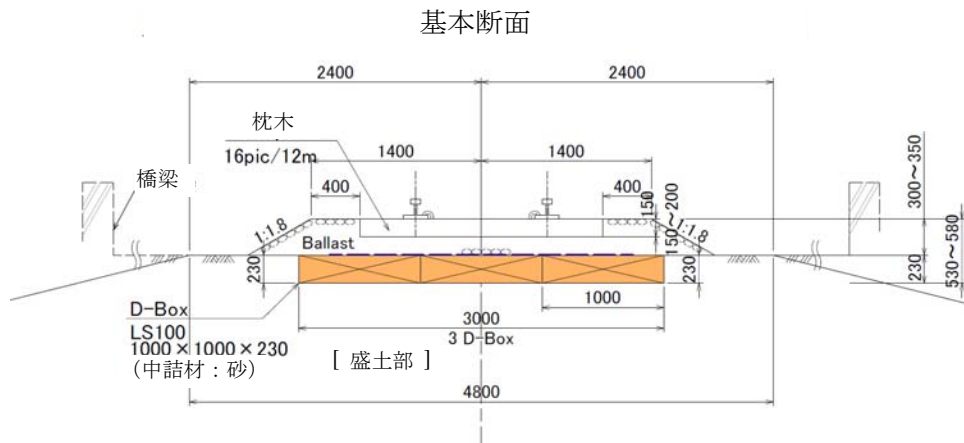


表 5.1-9 基本断面形状の管理基準

検査項目	規格値	規格範囲	管理頻度	備考
盛土部 1) 幅 2) 高さ【標高】	1) 幅-100mm 以内 2) 高さ：標高は±50mm	キャスポルまたは、FWD 試験による管理(案)	施工延長 100m 毎に一箇所、それ以下の場合には、1 施工区に 1 ヶ所	1) 幅が設計値よりも大きい場合は OK
D-Box 天端高	Sleeper との離隔を 150mm 以上確保されていることを確認	1) 離隔 +150mm 以上	施工延長 100m 毎に一箇所、それ以下の場合には、1 施工区に 1 ヶ所	
バラスト	1) 設計図に準じる	1) 幅：設計値以上 2) 高さ：設計値以上	施工延長 100m 毎に一箇所、それ以下の場合には、1 施工区に 1 ヶ所	D-Box に入れ湿潤状態でランマーにより転圧後に足で踏んで跡が残らない事
枕木 (Sleeper)	1) 1 スパン (12m) に 16 本設置 2) 下端部と D-Box との間に 150mm 以上の離隔があること	破損、クラックの無いもの	施工延長 12m 毎に一箇所、それ以下の場合には、1 施工区に 1 ヶ所	レールの接合部の下には、枕木を設置すること
軌道 (Rail Truck)	MR の管理基準に準じる。	MR の管理基準に準じる。	MR の管理基準に準じる。	Chaungphyar 時の検査実績 1) 5m ごとの軌道高低相対誤差±5mm 2) 5m ごとの軌道幅±10mm 3) 5m ごとの設計高±10mm

5.2 写真撮影管理

工事記録として、表 5.2-1 に示す基準に従って写真を撮影し整理する。

表 5.2-1 写真管理基準

項目	工種	撮影項目	撮影頻度	撮影時期
1.工事着手前後	着手前	全景及び代表施工箇所 (panoramic view and typical section)	着手前 一回	着手前 (before commencement)
	D-Box 敷設完了後	D-Box どのように設置されたか分かる写真	D-Box 敷設完了後 1回	完了後 (after compression work)
2.施工状況	準備工、仮設工、掘削工	全景及び代表箇所 の進捗状況	1) 施工仮称及び 工種毎に 1回	施工中 (under construction)
3.安全管理	保安設備/朝礼時の KY 活動	1) ヘルメット/作業靴等 2) 朝礼 3) 標識	毎朝	実施時
4.材料	1) D-Box 2) D-Box の型枠 3) 中詰材 (砂、現場発生土) 4) その他材料		品目ごとに 1回撮影	搬入時
5.使用重機	1) バックホウ 2) RGC 3) タンパー 4) ランマー 5) ユニック	全景	機械ごとに 1枚	使用中
6.品質管理	D-Box 製作工	遠景/近景	200 袋毎または、1 施工箇所	施工時
	試験施工	遠景/近景	1ヶ所実施時	施工時
	D-Box 設置工	遠景/近景	100m 毎に一箇所	施工時
	D-Box 転圧	遠景/近景	100m 毎に一箇所	施工時
	キャスポル(または小型 FRD)計測管理	近景/計測状況	100m 毎に一箇所	施工時
	補助シート敷設工	遠景/近景	遠景/近景	施工時
	レール設置	遠景/近景	遠景/近景	施工時

6. 維持管理マニュアル

6.1 引渡時の注意

D-Box は本来、軟弱地盤上に直接設置し、下層地盤部を締め固める工法である。ただし今回の鉄道軌道部直下の地盤については、乾季のため完全に乾燥した見かけ上強固な地盤の上に D-Box が敷設されている。

D-Box は非常に耐久性の強いポリプロピレンにより製造されているが、唯一、紫外線に対する抵抗力は期待できない。

今回の製品では、直接紫外線にさらされた状態で、概ね 1 年程度で強度劣化が起こる。

6.2 D-Box の維持管理

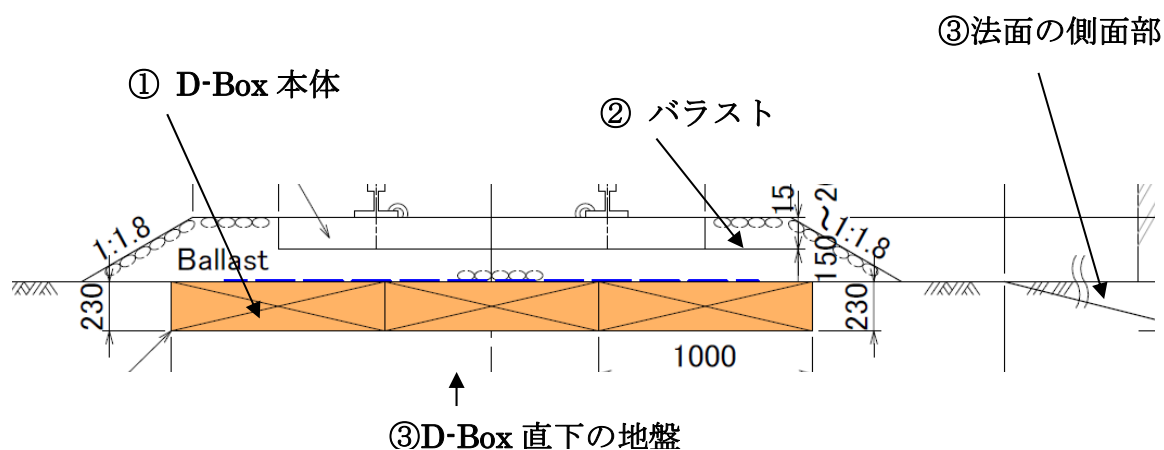


図 6.2-1 D-Box 敷設断面図

表 6.2-1 D-Box の維持管理

図中番号	部位の名称	求められる維持管理
①	D-Box 部	図 6.2-1 の状態が維持された場合、維持管理の必要は無い。
②	バラスト部	経年変化によりバラストが崩れて D-Box が露出した場合、出来るだけ早急にバラストを投入し、D-Box が直接紫外線に当たらないように管理すること。具体的には、市販の土のうに砂を入れ、それを被せることで対応しても良い。 D-Box が紫外線に長時間さらされ、足で強く踏みつけた時に袋が破れる程度の劣化が見られた場合は、端部の D-Box を新しい D-Box と交換すること。
③	法面の側面部	雨季の時期、法面部に水位が上昇し法面の一部が倒壊する可能性がある。この場合法面上部の軌道が影響を受ける可能性があるため、倒壊等のある箇所の補修を行う必要がある。 D-Box を用いた斜面の補強例については、7.4 章を参照のこと。
④	D-Box 直下の地盤部	今回の工事では路床が、乾季で非常に乾燥した強固な状態であったため、ランマーによる転圧を行なっているが、下層地盤部への締固や地盤部への貫入が十分でない可能性がある。また、乾燥収縮により盛土部の内部に空洞が出来ている可能性も考えられる。 このため、特に初年度の雨季を過ぎた際、軌道の高さを測量し沈下が大きい場合には D-Box 上部のバラストを補充して軌道の高さを調整すること。 但し、D-Box はそのままの状態とし、D-Box 自体を修正する必要はない。沈下は起こるが、その分 D-Box による締固め効果等により地盤支持力は上がっているため、時間経過と共に D-Box 及び D-Box の下層部は安定する。

7. その他

7.1 軌道の沈下観測

(1) 観測概要

D-Box による軟弱地盤対策として、噴泥や地盤沈下抑制効果を確認するため鉄道軌道部のレールの高さを 20m 間隔で 2017 年 4 月から 2018 年 4 月まで毎月 1 回の観測を行なった。



図 7.1-1 観測状況写真：線路の左側を 20m 間隔で計測（CH220～CH580：19 箇所）

(2) 観測結果と今後の対応

軌道が完成した MR への引渡日の 2017 年 4 月 7 日の軌道の計測高を基準高とし、その後の 1 年間の線路の沈下計測を行なった（表 7.1-1 参照）。

1 年後の線路の沈下量は一部（端部の CH220 と CH400 及び CH420）を除けば 3cm 以内であることから、簡易な維持管理により線路の高さ調整を行なうことにより 40km/hr 程度の速度での列車の通行に対しては、問題は無い状態を確保することが可能であると判断される。

一方、CH420 は、図 7.1-2 及び表 7.1-2 に示すように 18cm 程度の沈下となり、CH400 も 6cm 軌道が下がっている（CH220 も約 6cm 沈下しているが、これは、既存の CH210 が約 8cm 沈下しており、それに追従したためと考えられる）。この原因として考えられることは、下の写真に示すように、施工前のこの部分の盛土高さは、Chaungphyar Bridge よりも約 70cm 程度低い位置にあったことや既存擁壁に囲まれており、盛土の下に空洞があった可能性がある。本事業では、盛土部は MR の責任において造成することになっていたことから、この点については確認できていない。なお、今後の対応としては、盛土部は D-Box 設置前に十分に転圧を行なうことが必要である。



CH420 2016 年 8 月（施工前）



CH420 2018 年 4 月（施工完了 1 年後）

表 7.1-1 レールの沈下計測結果 (竣功時 2017 年 4 月 7 日～2018 年 5 月 2 日)

CH	①Design EL RL(m)	②7Apr.2017	19Apr.2017	1May.2017	1June.2017	1July.2017	1August.2017	1Sep.2017	1October.2017	1November.2017	7January.2018	5 February.2018	5 March.2018	2 April.2018	2 May.2018	
210	9.26	9.511		9.493	9.508	9.515	9.511	9.511	9.522	9.529	9.502	9.482	9.448	9.447	9.434	
215	9.22	9.493		9.495	9.500	9.507	9.501	9.502	By Manual work							9.446
220	9.486	9.488	9.483	9.487	9.486	9.495	9.486	9.494	9.497	9.503	9.488	9.480	9.455	9.468	9.431	
240	9.430	9.428	9.424	9.423	9.423	9.440	9.431	9.445	9.444	9.449	9.436	9.432	9.414	9.426	9.416	
260	9.507	9.503	9.490	9.487	9.489	9.524	9.511	9.528	9.523	9.527	9.518	9.513	9.497	9.502	9.501	
280	9.644	9.643	9.629	9.628	9.631	9.649	9.635	9.654	9.644	9.65	9.642	9.636	9.624	9.631	9.629	
300	9.780	9.775	9.772	9.772	9.770	9.786	9.773	9.787	9.784	9.787	9.782	9.776	9.764	9.768	9.768	
320	9.917	9.915	9.910	9.907	9.910	9.913	9.901	9.912	9.914	9.917	9.908	9.902	9.892	9.891	9.891	
340	10.054	10.050	10.038	10.036	10.039	10.050	10.04	10.056	10.049	10.049	10.042	10.036	10.025	10.031	10.036	
360	10.191	10.186	10.157	10.158	10.161	10.191	10.199	10.191	10.187	10.189	10.183	10.178	10.168	10.167	10.164	
380	10.326	10.324	10.290	10.288	10.287	10.318	10.324	10.318	10.314	10.32	10.311	10.306	10.300	10.296	10.294	
400	10.464	10.461	10.429	10.428	10.430	10.444	10.429	10.44	10.431	10.431	10.425	10.416	10.405	10.404	10.401	
420	10.601	10.598	10.574	10.571	10.570	10.562	10.565	10.556	10.544	10.541	10.519	10.494	10.462	10.463	10.421	
440	10.703	10.706	10.702	10.702	10.702	10.703	10.713	10.702	10.7	10.702	10.701	10.697	10.694	10.694	10.691	
460(bridge)	10.737	10.732	10.734	10.735	10.730	10.728	10.728	10.724	10.727	10.727	10.724	10.725	10.723	10.724	10.725	
480	10.717	10.712	10.704	10.705	10.708	10.709	10.713	10.71	10.71	10.716	10.702	10.702	10.699	10.698	10.696	
500	10.558	10.560	10.551	10.55	10.553	10.574	10.572	10.573	10.57	10.573	10.566	10.563	10.558	10.557	10.551	
520	10.346	10.342	10.319	10.316	10.320	10.351	10.347	10.346	10.35	10.346	10.344	10.341	10.335	10.339	10.331	
540	10.099	10.099	10.097	10.094	10.095	10.119	10.122	10.119	10.151	10.123	10.113	10.111	10.106	10.109	10.106	
560	9.967	9.962	9.958	9.959	9.960	9.969	9.977	9.971	10.003	9.972	9.965	9.962	9.957	9.961	9.958	
580	9.834	9.830	9.830	9.829	9.828	9.855	9.862	9.857	9.892	9.864	9.853	9.848	9.840	9.839	9.838	

出典：調査団作成

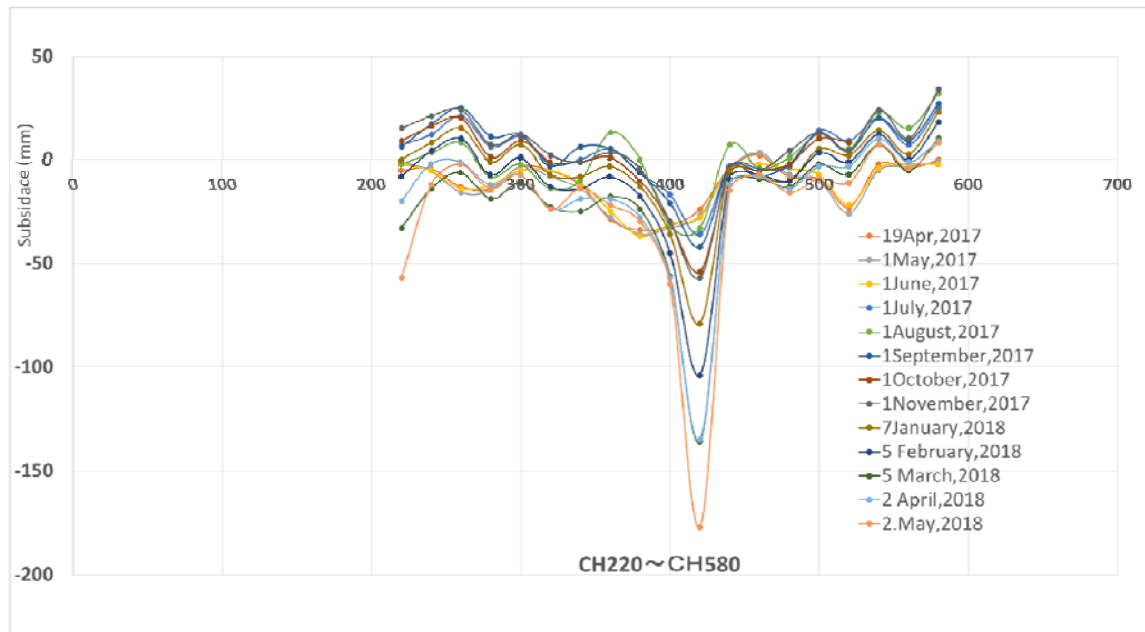


図 7.1-2 2017年4月7日からの沈下グラフ CH220～CH580
(2017年4月～2018年5月)
出典：調査団作成

表 7.1-2 2017年4月7日を基準値とした沈下状況 CH220～CH580
(2017年4月7日～2018年5月2日)

CH	19Apr,2017	1May,2017	1June,2017	1July,2017	1August,2017	15September,2017	1October,2017	1November,2017	7January,2018	5 February,2018	5 March,2018	2 April,2018	2May,2018
220	-5	-1	-2	7	-2	6	9	15	0	-8	-33	-20	-57
240	-4	-5	-5	12	3	17	16	21	8	4	-14	-2	-12
260	-13	-16	-14	21	8	25	20	24	15	10	-6	-1	-2
280	-14	-15	-12	6	-8	11	1	7	-1	-7	-19	-12	-14
300	-3	-3	-5	11	-2	12	9	12	7	1	-11	-7	-7
320	-5	-8	-5	-2	-14	-3	-1	2	-7	-13	-23	-24	-24
340	-12	-14	-11	0	-10	6	-1	-1	-8	-14	-25	-19	-14
360	-29	-28	-25	5	13	5	1	3	-3	-8	-18	-19	-22
380	-34	-36	-37	-6	0	-6	-10	-4	-13	-18	-24	-28	-30
400	-32	-33	-31	-17	-32	-21	-30	-30	-36	-45	-56	-57	-60
420	-24	-27	-28	-36	-33	-42	-54	-57	-79	-104	-136	-135	-177
440	-4	-4	-4	-3	7	-4	-6	-4	-5	-9	-12	-12	-15
460	2	3	-2	-4	-4	-8	-5	-5	-8	-7	-9	-8	-7
480	-8	-7	-4	-3	1	-2	-2	4	-10	-10	-13	-14	-16
500	-9	-10	-7	14	12	13	10	13	5	3	-2	-3	-9
520	-23	-26	-22	9	5	4	8	4	2	-1	-7	-3	-11
540	-2	-5	-4	20	23	20		24	14	12	7	10	7
560	-4	-3	-2	7	15	9		10	2.5	0	-5	-1	-4
580	0	-1	-2	25	32	27		34	23	18	10	9	8

出典：調査団作成

7.2 載荷試験の沈下観測

(1) 試験目的

乾季における地盤調査では現地盤の粘土（CLAY-1）の強度は乾燥の影響を受けて非常に高くなっており、粘土の圧密降伏応力からみて圧密沈下は生じないと判断される。

しかし、現地においては、雨期における水位上昇に伴い、現地盤の粘土（CLAY-1）の強度低下が生じることが確認されている。鉄道盛土は乾季に構築されている。こうしたことから、雨季の強度低下によって、鉄道盛土下方の支持力不足に起因する不等沈下およびすべりの発生が懸念される。このため、施工可能な乾季において D-Box を設置した。そして、原地盤の粘土の強度変化による沈下と、D-Box による沈下抑制効果の確認を目的とし、載荷試験の計画を立案・実施した。

載荷試験に用いる荷重は、鉄道盛土時と同程度とし、施工性を考慮し、安価で安定性および耐久性を備える D-Box を利用する。

(2) 試験実施位置

載荷試験実施位置を図 7.2-1(1)に、載荷試験位置付近の BH-02 ボーリング柱状図を図 7.2-1(2)に、BH-02 の圧密試験結果を図 7.2-1(3)に示す。

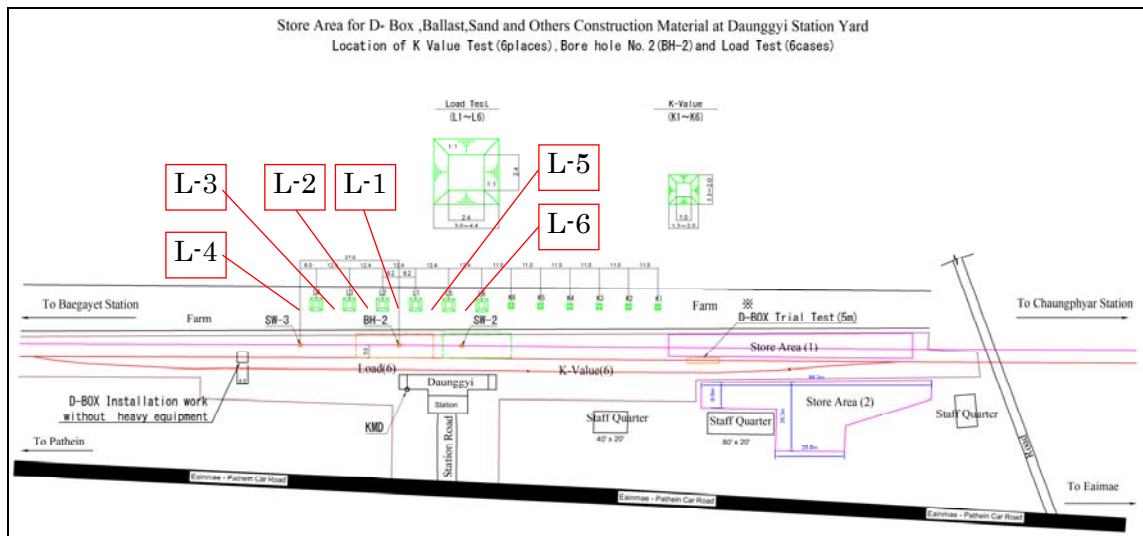


図 7.2-1(1) 載荷試験位置図

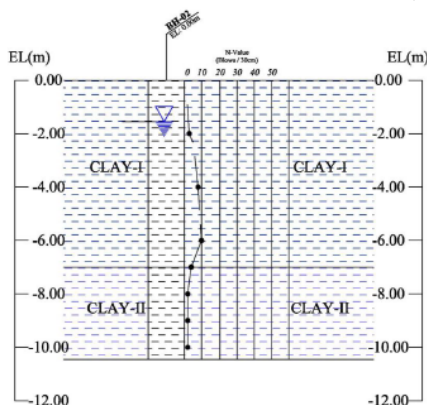


図 7.2-1(2) 載荷試験位置付近のボーリング柱状図

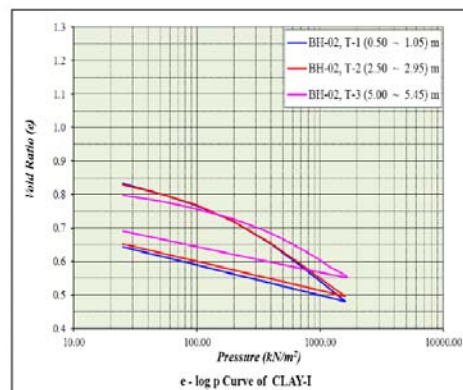


図 7.2-1(3) BH-02 の圧密試験結果

(3)調査実施内容

1) 試験項目

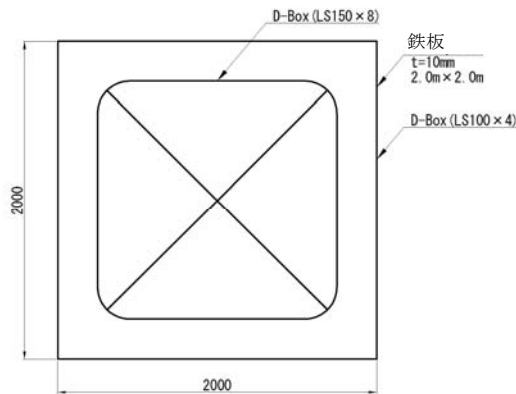
試験ケースと条件を表 7.2-1 に示す。

表 7.2-1 試験条件

試験ケース	地盤 (D-BOX)	備考
L-1	原地盤 (粘性土)	
L-2	砂	
L-3	碎石 (バラスト)	
L-4	D-BOX [砂]	
L-5	D-BOX [砂]	D-BOX を原地盤に押し込み
L-6	D-BOX [原地盤 (粘性土)]	

2) 試験方法

載荷試験は、地表面より 1.0m 程度の深度で実施した。試験実施時期は、乾季であり、地表面付近の地盤は乾燥していたため、乾燥が生じていない粘性土層まで掘削し、試験を実施した。また、荷重として D-Box を設置する際には、平坦性の確保と荷重分散を確実に図るため、鉄板を敷設する。



平面図

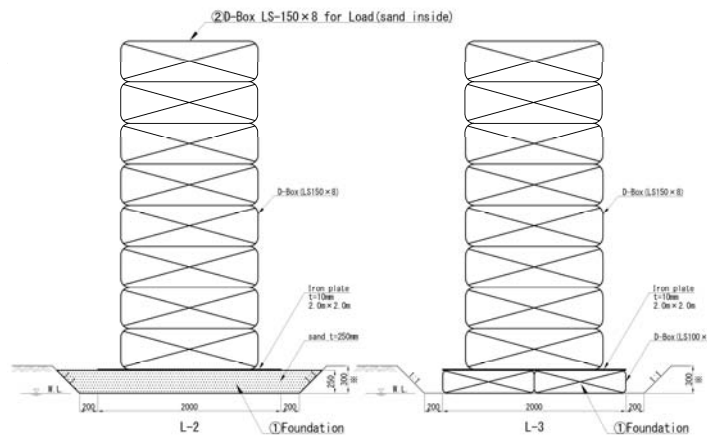


図 7.2-2 載荷試験模式図



写真 7.2-1 載荷試験設置箇所整地状況



写真 7.2-2 載荷試験設置状況

3) 実施工程

実施工程を表 7.2-3 に示す。載荷試験は、雨季における沈下抑制効果の確認を目的とするため、沈下計測期間を 2018 年 5 月までとした。

表 7.2-3 沈下試験実施工程

項目	2017年												2018年				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
準備載荷試験設置	■																
沈下計測	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	測定頻度	毎日	1回/週		1回/2週		1回/月										
載荷試験撤去																■	

※2017/2/9 – 2/15 : 準備 (載荷試験設置)

(4)調査結果

乾季における地盤条件では、本試験における荷重では、圧密沈下は生じないものの、試験箇所は雨季になると地下水位面が上昇し、乾燥状態である粘性土地盤が湿潤（水浸）状態に変化することで、体積膨張と強度低下、最悪の場合には、コラプス現象が生じることが懸念される。そのため、年間を通じて観測を実施し、雨季における粘土地盤の沈下傾向の変化と雨季における D-Box 沈下抑制効果の確認を行っており、計測を継続している。

載荷試験結果（経過時間と沈下量の関係）を図 7.2-3 に示す。載荷試験開始（2017/2/17）から約 40 日後（2017/3/28）までの乾季における各ケースにおける沈下量は、概ね 0～2cm 程度である。CLAY I の圧密降状応力 $P_c=240\text{kN/m}^2$ 程度に対し、著しい過圧密の状態である。このため、載荷開始時点から 65 日後までの期間は、概ね圧密沈下は生じておらず、弾性沈下のみが生じたと想定される。

約 70～320 日後（2017/5/1～2018/1/1）までの雨季における各ケースにおける沈下量は、概ね 1.7～4cm 程度である。荷重は雨季の水位上昇に伴って浮力を受け荷重は減少したにもかかわらず沈下はわずかながら増加している。但し、D-Box の有無による顕著な沈下量の違いは認められない。

この理由は、載荷開始時点で載荷面（粘性土の原地盤）が乾燥の影響を受けているとはいえ、湿潤状態であるため、コラプスによる沈下は生じておらず、粘土盛土地盤が雨季の給水の影響によって地盤強度が低下して沈下が増加したと考える。また、D-Box の有無による違いは殆ど見られず、沈下量の差は調査位置の地盤のばらつきに起因すると判断する。

約 330 日以後（2018/1/7～）の雨季が明けた後における沈下量は、各ケースとも隆起へと傾向が変わっている。この理由としては、雨季による水の増加荷重により沈下した分が乾季には水が抜けたことで、弾性沈下分が隆起したものと考えられる。

これらの結果から、現粘土地盤でも乾燥していない部分ではコラプス現象が生じないと判断できる。以上より、乾燥状態の粘性土盛土が湿潤（水浸）状態に変化することで、強度低下を生じるが、湿潤状態であれば強度低下を生じないことが確認できた。

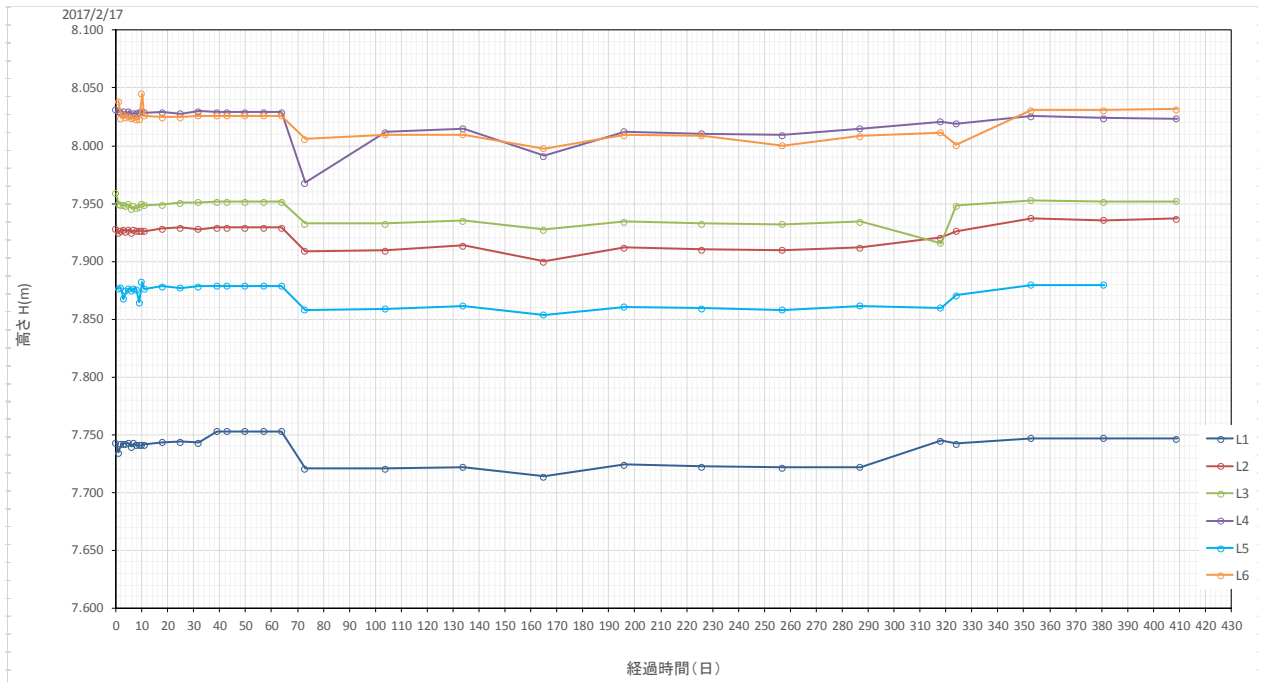


図 7.2-3(1) 沈下計測結果 (標高で整理)

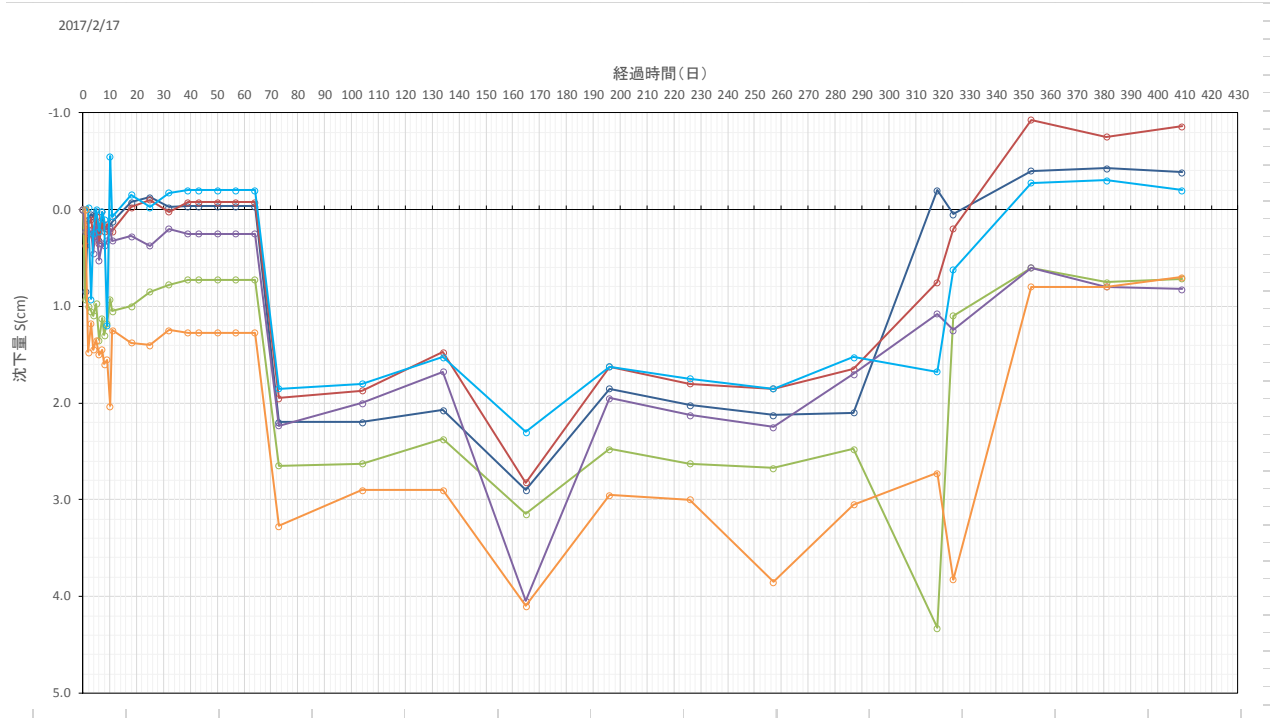


図 7.2-3(2) 沈下計測結果 (沈下量で整理)

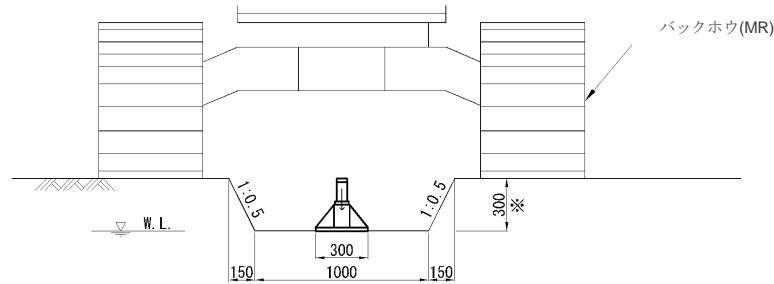
7.3 平板載荷試験結果

(1) 平板載荷試験の実施ケース

現状地盤，及び D-Box を用いた基礎の支持力の違いを把握するため，以下の①～⑥の計6ケースの異なる条件で平板載荷試験（PLT-K-1～6）を実施した。

① 基礎地盤（粘性土）の上で直接平板載荷試験

⇒粘性土の極限支持力の測定（基礎地盤（粘性土）の正確な強度定数を算出する）

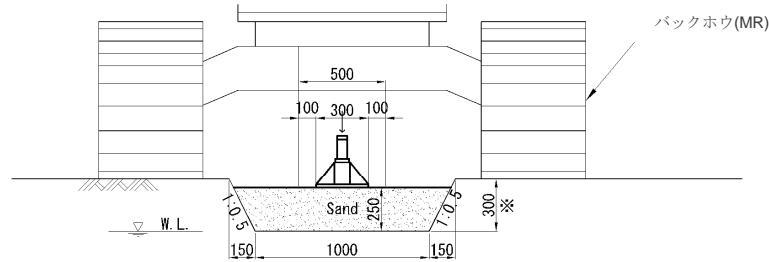


K-1 基礎地盤

図 7.3-1(1) 平板載荷試験(1) PLT-K-1

② 基礎地盤を厚さ 25cm の砂を敷き，その上で平板載荷試験

⇒砂を敷いた場合の極限支持力の測定（D-Box と等厚の砂との違いを比較する）

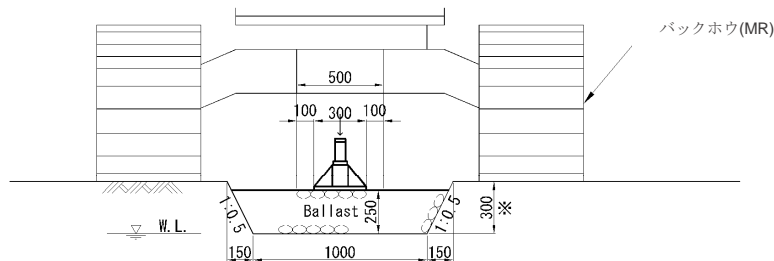


K-2 砂 t=250mm

図 7.3-1 (2) 平板載荷試験 (2) PLT-K-2

③ 基礎地盤を厚さ 25cm のバラストで置換え，その上で平板載荷試験

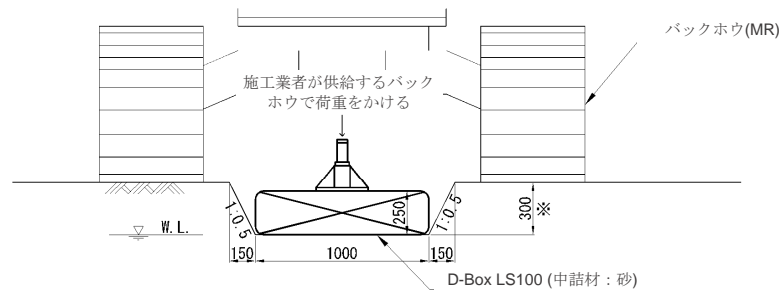
⇒バラストの極限支持力の測定（バラストと D-Box との強度を比較する）



K-3 バラスト t=250mm

図 7.3-1 (3) 平板載荷試験 (3) PLT-K-3

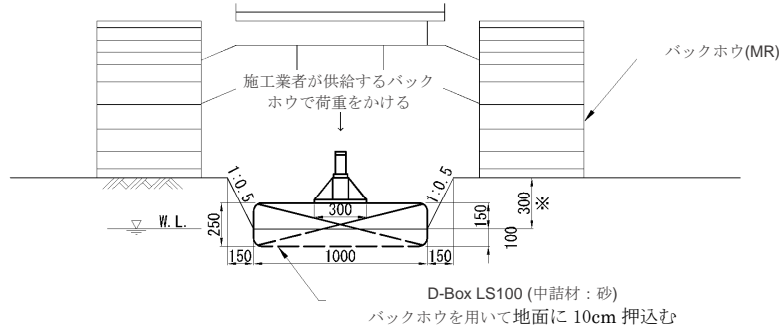
- ④ 基礎地盤上で D-Box (厚さ 25cm) を設置し、その上で平板載荷試験
 ⇒D-Box (中詰材=砂) の極限支持力測定 (D-Box による支持力増加を確認する)



K-4 D-Box (中詰材=砂)

図 7.3-1 (4) 平板載荷試験(4) PLT-K-4

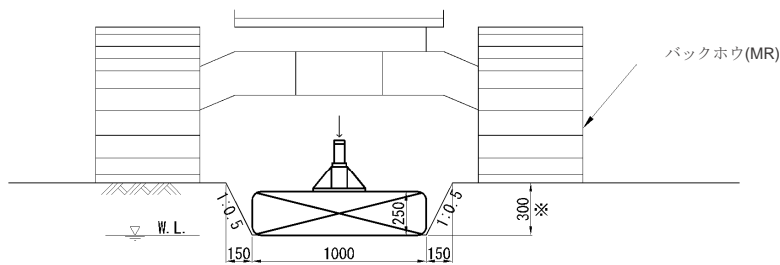
- ⑤ ④の D-Box (中詰材=砂) を地面に 10cm 押込み後、平板載荷試験
 ⇒押込んだ D-Box の極限支持力測定 (D-Box の押込みによる支持力増加を確認する)



K-5 D-Box (中詰材=砂) を地面に 10cm 押込み

図 7.3-1 (5) 平板載荷試験(5) PLT-K-5

- ⑥ ④の D-Box の中詰材を現地発生土に変えての平板載荷試験
 ⇒D-Box (中詰材=現地発生土) の極限支持力測定 (中詰材の違いによる支持力を確認)



K-6 (中詰材: 現地発生土)

図 7.3-1 (6) 平板載荷試験(6) PLT-K-6

(2) 平板載荷試験の試験結果

平板載荷試験より得られた荷重と沈下量の関係（P-S 曲線）を図 7.3-2 に示す。

（「Report on the Works of Plate Loading Test for Soil Improvement Work at Dauntgyi Station Railway Project, FKYB-SI-217/2016-032, March 2017」 p.7～9 より）

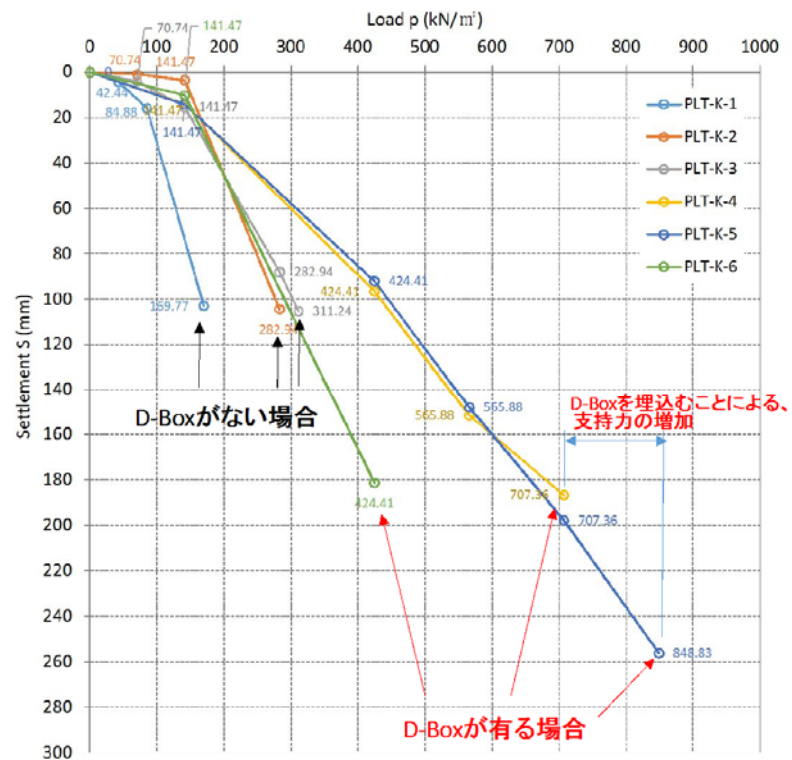


図 7.3-2 平板載荷試験結果（P-S 曲線の重ね合わせ図）

平板載荷試験の結果から求めた各ケースの極限支持力を表 7.3-1 に示す。

表 7.3-1 平板載荷試験結果（極限支持力）

Point No.	極限支持力 (kN/m ²)
PLT-K-1	84.88
PLT-K-2	141.47
PLT-K-3	141.47
PLT-K-4	707.19
PLT-K-5	962.74
PLT-K-6	424.62

7.4 斜面補強(斜面の法先部の D-Box Dam)

(1) 斜面補強の概要

鉄道が河川を横断する場合には、橋が設置されており周辺地盤よりも 3m～5m の高さで盛土が必要となり、エーヤワディデルタ地帯では、周囲の軟弱粘土を掘削して盛土を形成している。

この盛土部は、乾季は硬い粘土となり、乾燥収縮により、ところどころにクラックが生じ、雨季にはクラックの隙間から水が浸透し、水分を吸収し軟弱な粘土となる。そのため、Chaungphyar Bridge 周辺では、1990 年の建設以来、毎年のように軌道部直下の Ballast が噴砂現象により沈下するだけでなく、斜面崩落の補修工事が行なわれて来ている。2017 年 4 月に行なった斜面の形成において法勾配を 1:3 として安定を図ったが、雨季の集中豪雨時には、斜面にクラックが入り、すべりを生じる結果となった(図 7-4-1 参照)。

この原因としては、Chaungphyar Site では、乾季に盛土部の粘土が乾燥してひび割れを起こし、その後の雨季の集中豪雨により、ひび割れ部の隙間に水が浸透したことにより、粘土のせん断強度(粘着力)が著しく低下し、斜面崩壊が各所で生じたため斜面の補強を行なった。

斜面補強で効果が高かったものは、図 7-4-2 に示すように法面の先端にカンシ堤(D-Box Dam)として D-Box を斜面の法先部に延長 80m で設置した区間であり、設置後 1 年以上が経過したが、斜面の崩壊は全く生じていない。

この実績を基に、図 7-4-3 に示すようにカンシ堤(D-Box Dam)として D-Box を 2 段で埋込む工法を斜面对策としてその他の斜面の補強工法として、約 450 m の法面の補強を行なった。また、一部の擁壁クサビ杭として MR の廃レール(L=3m)を 0.5 m～1 m 間隔で打設する工法であった。



図 7-4-1 斜面の雨季の崩壊状況 (2017 年 7 月 法勾配 1:3)

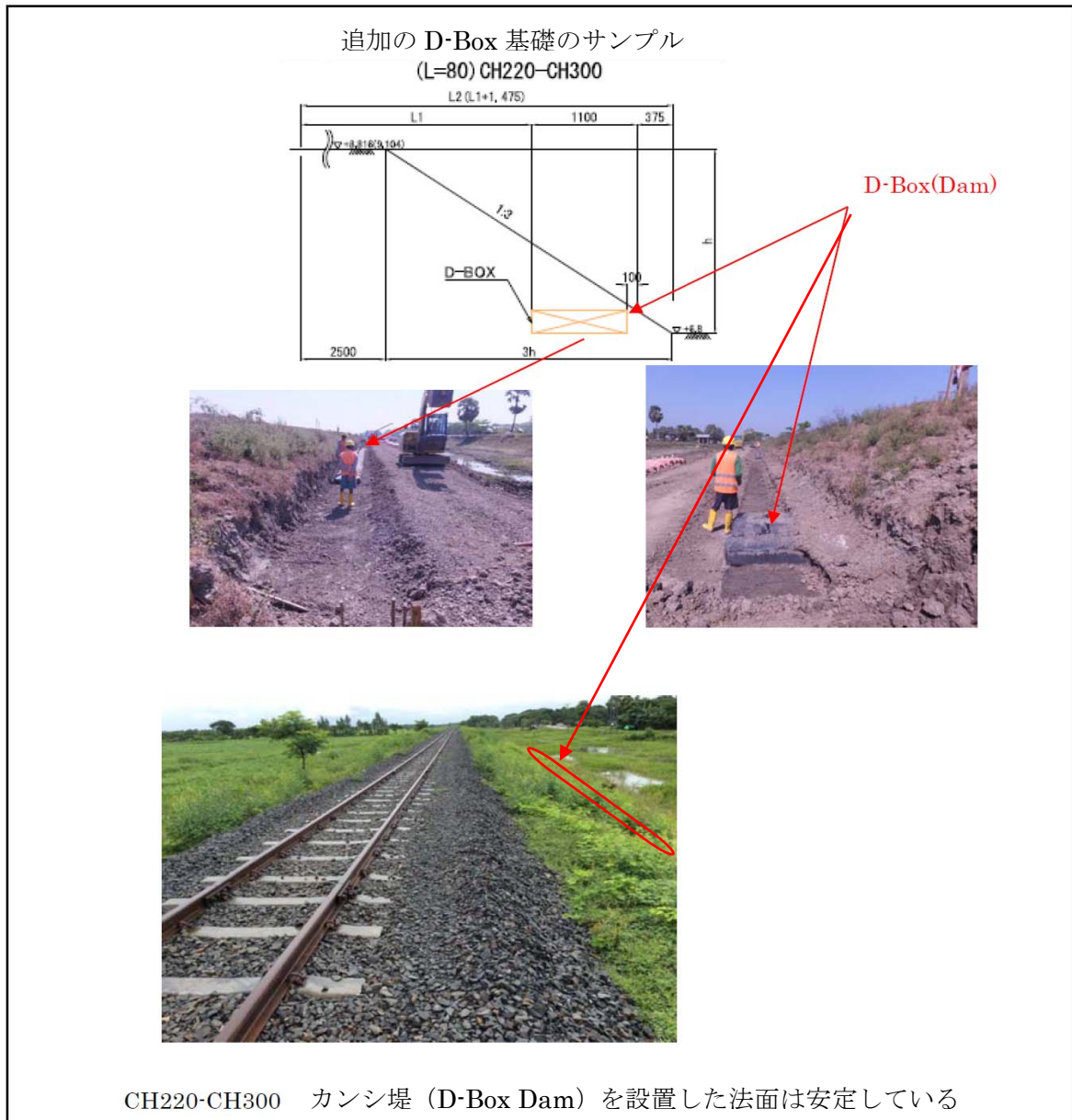
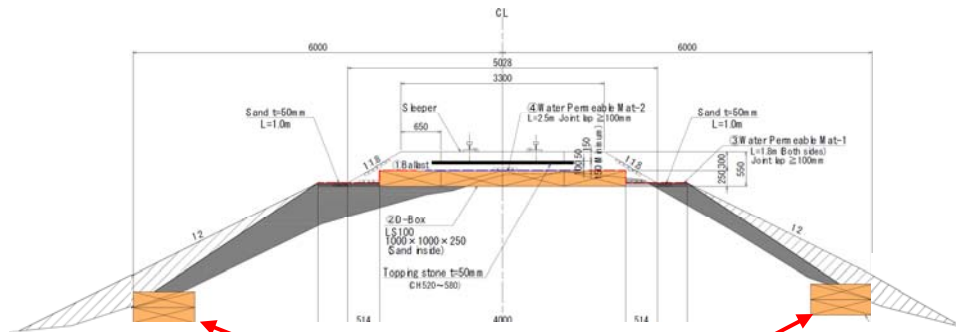


図 7-4-2 D-Box Dam の設置とその後の状況

(2) カンシ堤による斜面補強

D-Box による斜面補強の対策としてのカンシ堤 (D-Box Dam) の補強状況を図 7-4-3 に示す。なお、擁壁の前面には、図 7-4-4 に示すように廃レールを用いたクサビ杭 (L=3m) により斜面のすべり対策を行ない斜面对策としている。

カンシ堤の設置時に地盤が乾燥している場合には、図 7-4-3 に示すように十分に散水した後にバックホウによる D-Box への転圧と斜面埋め戻し後の転圧を十分に行なうことが必要である。



D-Box Dam (2 段)



D-Box 設置後の散水と転圧



D-Box 及び周辺への散水



D-Box Dam 設置後のバックホウによる転圧



D-Box Dam 斜面転圧完了

図 7-4-3 カンシ堤 (D-Box Dam) による斜面補強



図 7-4-4 廃レールを用いたクサビ杭を用いた斜面補強

(3) カンシ堤による Chaungphyar Site の斜面補強の詳細

斜面補強に用いた D-Box カンシ堤 (D-Box Dam) の内訳は表 7.4-1 および図 7.4-5~7 に示すように、延長 487m、追加の D-Box 約 800 袋を用いて 2018 年 2 月に実施した。

なお、D-Box カンシ堤による成果の確認は、2018 年の雨季を待って最終確認する予定である。

表 7.4-1 D-Box (カンシ堤) の使用数量

	種別	左側/右側	レールからの距離(m)	開始CH	終了CH	段数	延長(m)	D-Boxの数量
L-1	G	左	7	210	406	2	196	392
L-2	G	左	6	393	398	2	5	10
L-3	G	左	6	394	398	3	4	12
L-4	G	左	6	398	406	2	8	16
L-5	G	左	7.6	501.5	510.5	2	9	18
L-6	G	左	10.5	512	524	2	12	24
L-7	G	左	9	525	536	1	11	11
L-8	G	左	6.5	534	536	3	2	6
L-9	G	左	7	536	580	1	44	44
R-1	G	右	7	300	407	2	107	214
R-2	G	右	3	366	382	3	16	48
R-3	G	右	7.3	502.5	517.5	2	15	30
R-4	G	右	6.6	518	547	1	29	29
R-5	G	右	7.3	548	561	1	13	13
R-6	G	右	7.3	562	566	2	4	8
R-7	G	右	7.3	566	578	1	12	12
合計							487	887

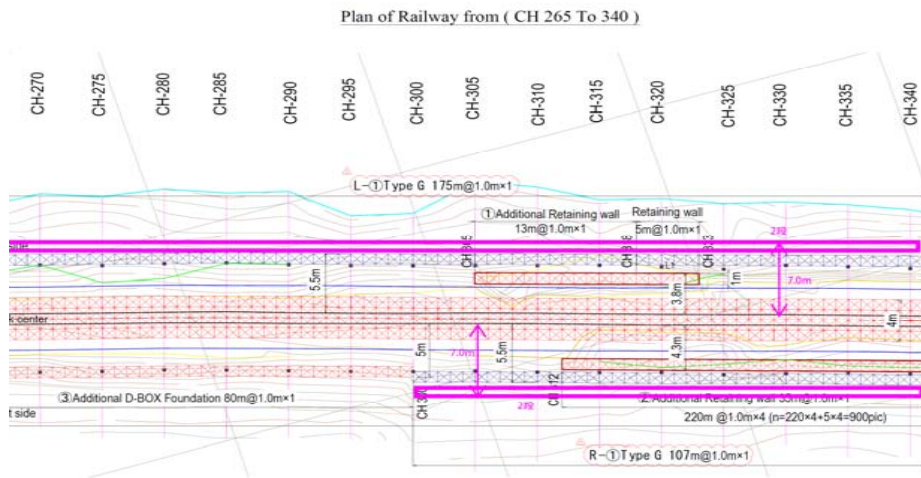
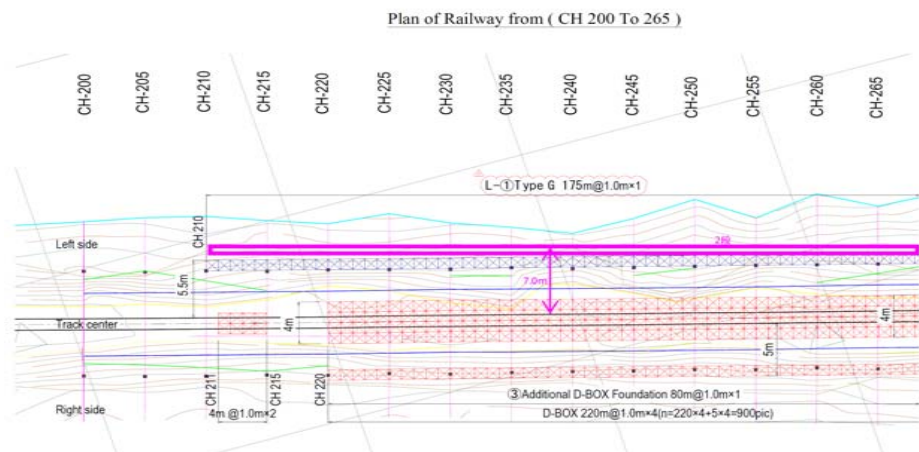


図 7-4-5 D-Box Dam の位置図 (CH210-CH340)

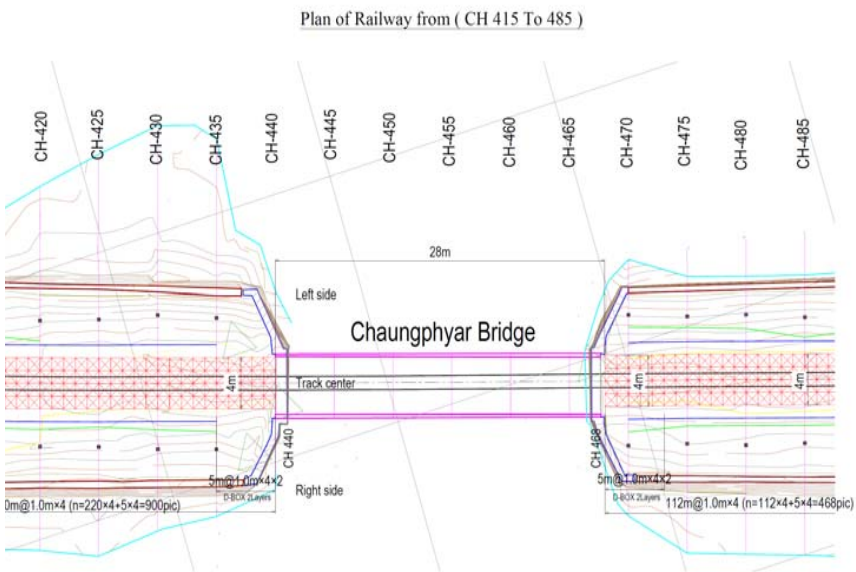
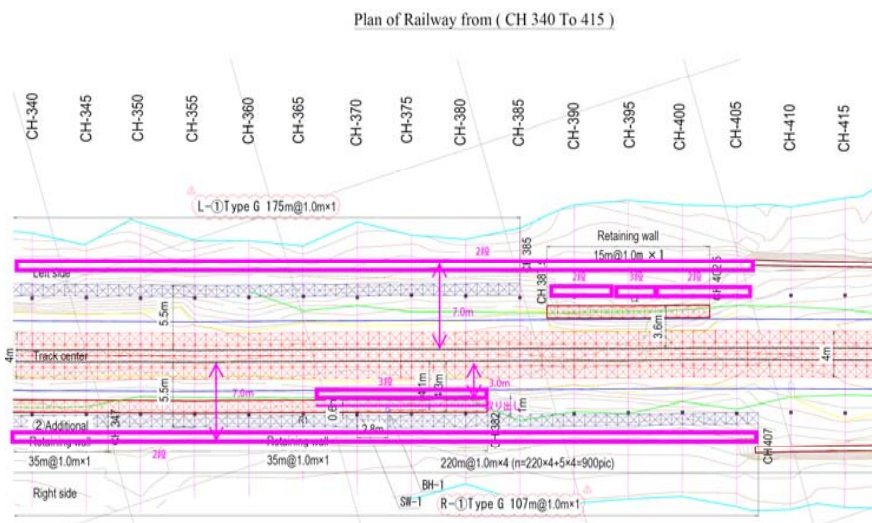


図 7-4-6 D-Box Dam の位置図 (CH340-C485)

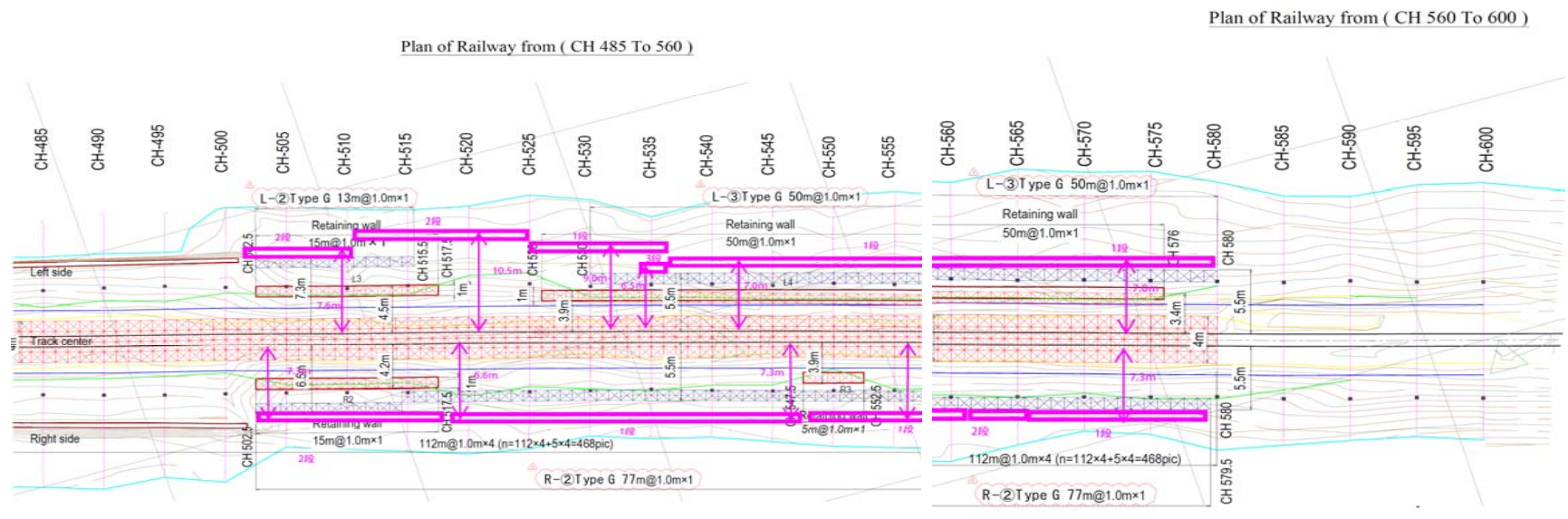


図 7-4-7 D-Box Dam の位置図 (CH485-C580)

7.5 設計計算例【載荷幅及び基礎地盤支持力を変更した場合の支持力計算のケーススタディ】

(1)

1) 解析条件・方法

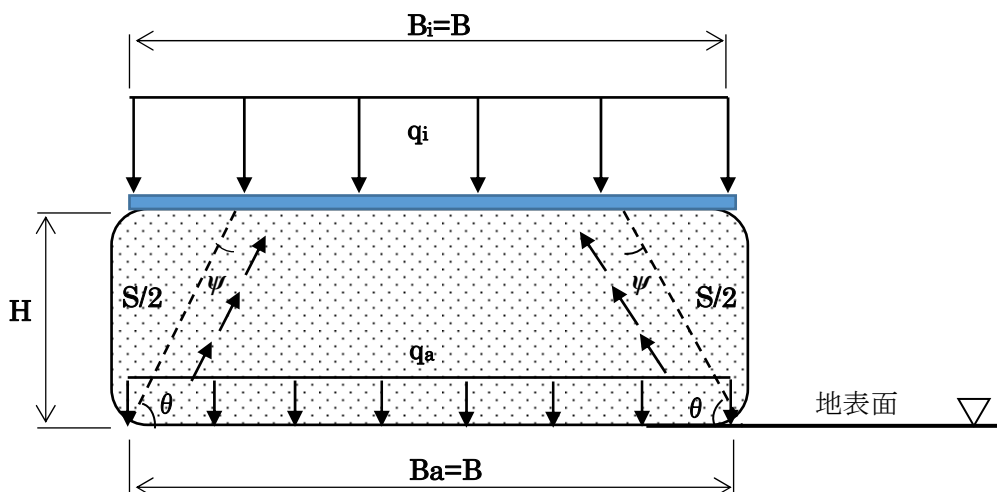
FEM 解析により、D-Box に作用する載荷幅及び基礎地盤支持力を変更した場合のケーススタディを実施し、置換工（D-Box 中詰め材と同じ材料・同じ高さ）を用いた場合の支持力と比較した。なお、置換工は荷重分散効果が期待できる構造にした。

載荷幅は、D-Box の荷重分散効果が期待できずに D-Box の支持力補強効果が小さくなる、全幅載荷（D-Box 基礎幅と同じ幅の載荷）とし、その他、ケーススタディの条件は以下のとおりである。

○D-Box（LS-100）基礎及び置換工基礎の形状

- D-Box の高さ $H=0.25\text{m}$ 、D-Box の幅 $B=1.0\text{m}$
- 置換工の高さ $H=0.25\text{m}$
- D-Box（LS-100）基礎及び基礎は地表面に設置

<D-Box（LS-100）基礎モデル>



<置換工基礎モデル>

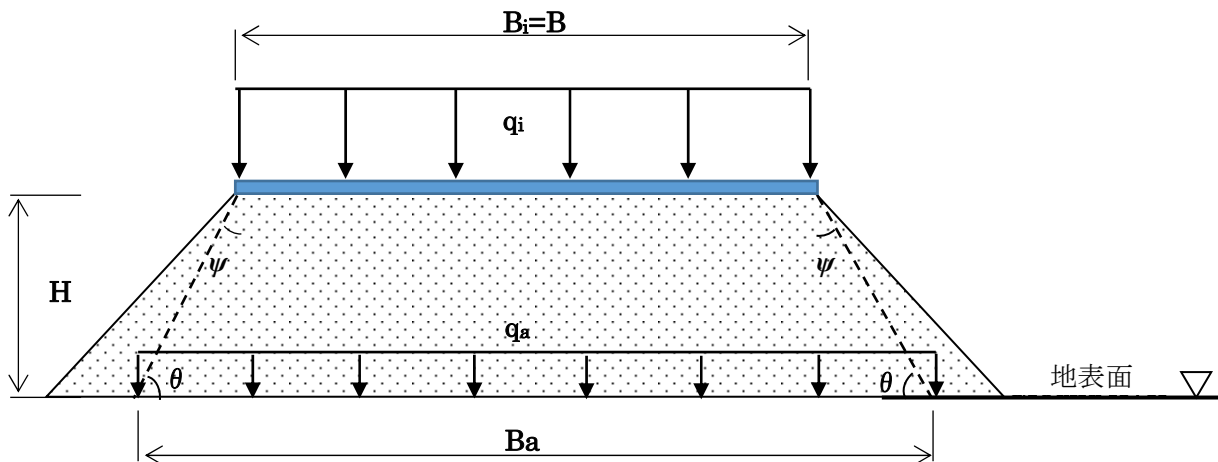


図 7.5-1 支持力計算のケーススタディモデル

○基礎地盤の解析モデルケース（支持力、粘着力）

- 基礎地盤の平板載荷試験結果（PLT-K-1）の支持力 $q_a=84.88 \text{ kN/m}^2$ 、及び試験結果の再現解析 FEM モデル基準とし、図 7.5-1 の載荷条件で FEM 解析により、D-Box 基礎の載荷重と沈下量の関係求めた。この基準モデルをケース 2 とし、FEM 解析モデル図及び解析結果による載荷重と沈下量を図 7.5-2、図 7.5-3 に示す。
- ケース 2 の基準モデルの変形係数を E とし、この E を E/2（ケース 1）、及び 2E（ケース 3）にしたモデルを作成し、図 7.5-1 の載荷条件で載荷重と沈下量の関係求めた（図 7.5-3）。
- ケース 1～ケース 3 において、それぞれ沈下量が 10cm までの(載荷重/沈下量)を計算し、ケース 2 の(載荷重/沈下量)及び支持力を基準とした按分から、ケース 1 及びケース 3 の支持力を算定した。例えば、ケース 1 の(載荷重/沈下量)が、ケース 2 の 6 割の場合は、ケース 1 の支持力は、ケース 2 の支持力の 6 割とした。
- ケース 1～3 の基礎地盤の粘着力 c は、上記で計算した支持力 q_a を、形状係数 α 及び支持力係数 N_c で割って求めた。
- 基礎地盤の解析モデルケース（支持力、粘着力）を表 7.5-1 に示す。

表 7.5-1 基礎地盤の解析モデル

ケース	1	2	3
形状係数 α 、支持力係数 N_c	$\alpha=1.2、N_c=5.14$		
基礎地盤の支持力 $q_a \text{ kN/m}^2$	52.28	84.88	127.32
基礎地盤の粘着力 $c \text{ kN/m}^2$ $c=q_a/(\alpha N_c) \quad \alpha=1.2 \quad N_c=5.14$	8.48	13.76	20.64

○D-Box 基礎の支持力計算式

- 載荷重の幅が表 7.5-1 基礎幅と同じ場合、表 7.5-1 内部での荷重分散効果は期待できない。このため、式 (3.5-13) より、表 7.5-1 基礎の支持力計算式は式 (7.5-1) で示される。

$$Q = \frac{q_{sa}}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}$$

$$= q_{sa} + 1.71 \times T + 0.15 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (7.5-1)}$$

ただし、 $Q \geq q_i, q_{sa} = q_a$

- D-Box 内部の支持力計算式は、 $Q_D = (\text{形状係数 } \alpha) \times (\text{支持力係数 } N_c) \times (\text{粘着力 } c_D)$ であり、式 (3.5-16) で示される。

$$Q_D = 1.2 \times 5.14 \times c_D \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- 置換工の極限支持力計算式は、荷重分散効果のみ期待できるため、式 (7.5-2) で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} = 1.23 \times q_{sa} \dots \dots \dots \text{式 (7.5-2)}$$

2) 解析ケーススタディの結果

ケース 1～ケース 3 の FEM 解析結果によるシート張力の載荷重の関係を図 7.5-4 に示す。シート張力と載荷重の関係は、ケース 1～ケース 3 の基礎地盤の支持力の大きさに関わりなく、概ね同じである。載荷重 q_i に対するシート張力 T を図 7.5-4 より求め、式 (7.5-1) に代入し、ケース 1～ケース 3 の D-Box 基礎の支持力 Q を算定して、図 7.5-5～図 7.5-7 に示した。支持力と載荷重が同じになる時（安全率 1 の状態）を D-Box 基礎の極限支持力とし、こ

の荷重 q_i に対するシート張力をシートの設計張力 T_s とした。

また、同図には式(3.5-16)及び式(7.5-2)より求めた、D-Box 内部の支持力及び置換工の極限支持力を合わせて明示した。さらにケース 1～ケース 3 の D-Box 基礎の極限支持力及びシート設計張力、置換工の極限支持力等の結果をまとめて表 7.5-2 に整理した。D-Box 基礎の極限支持力が発揮される時の沈下量は 9～10cm 程度である。

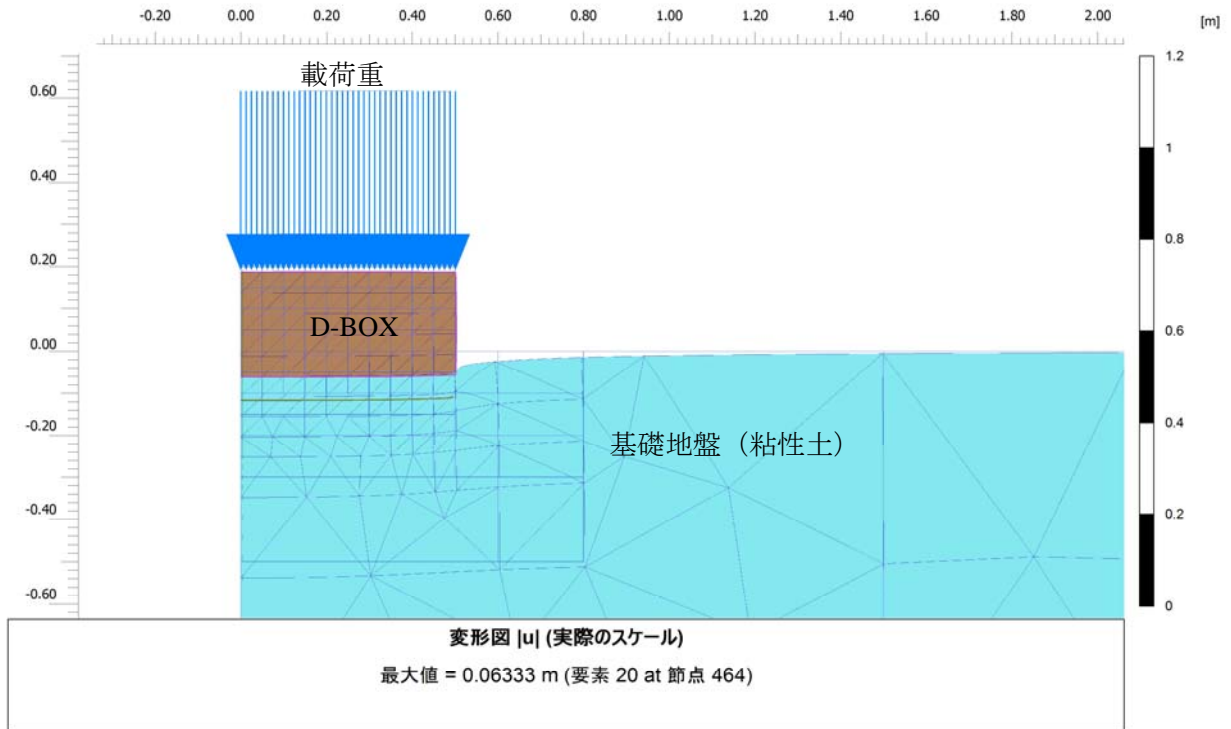


図 7.5-2 D-Box 基礎のケーススタディモデル (荷重の幅=D-Box 幅)

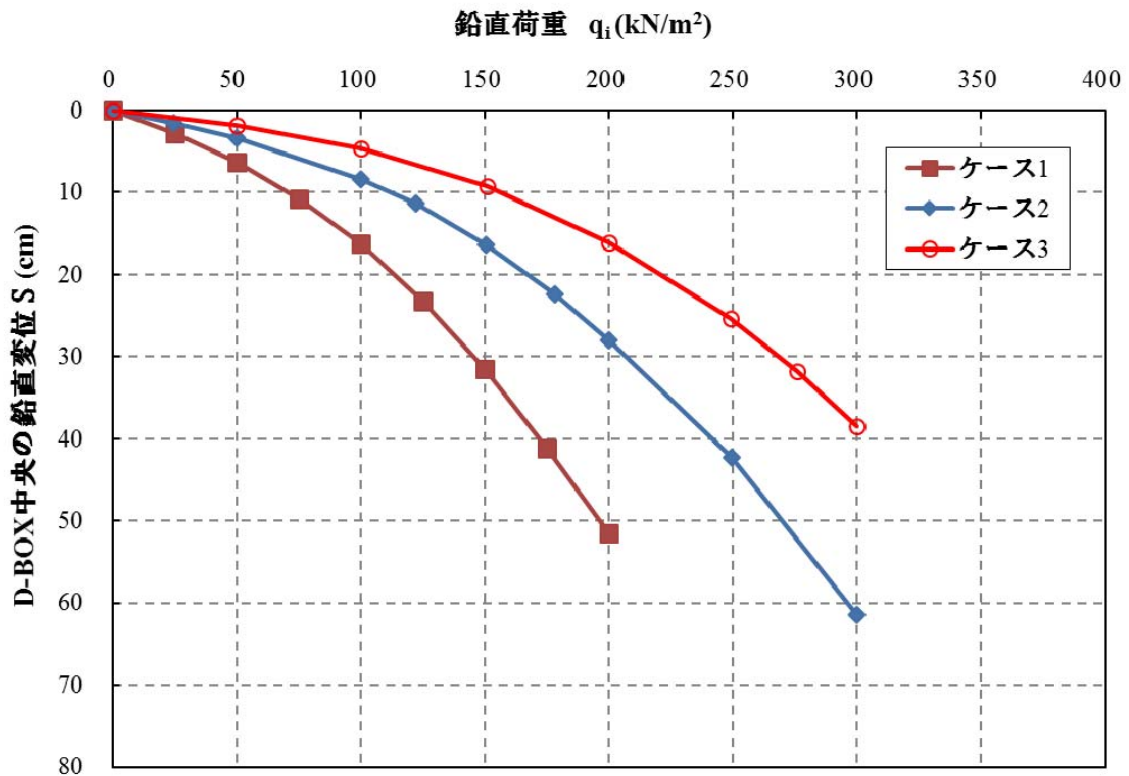


図 7.5-3 D-Box 基礎のケーススタディ結果 (荷重と沈下量の関係)

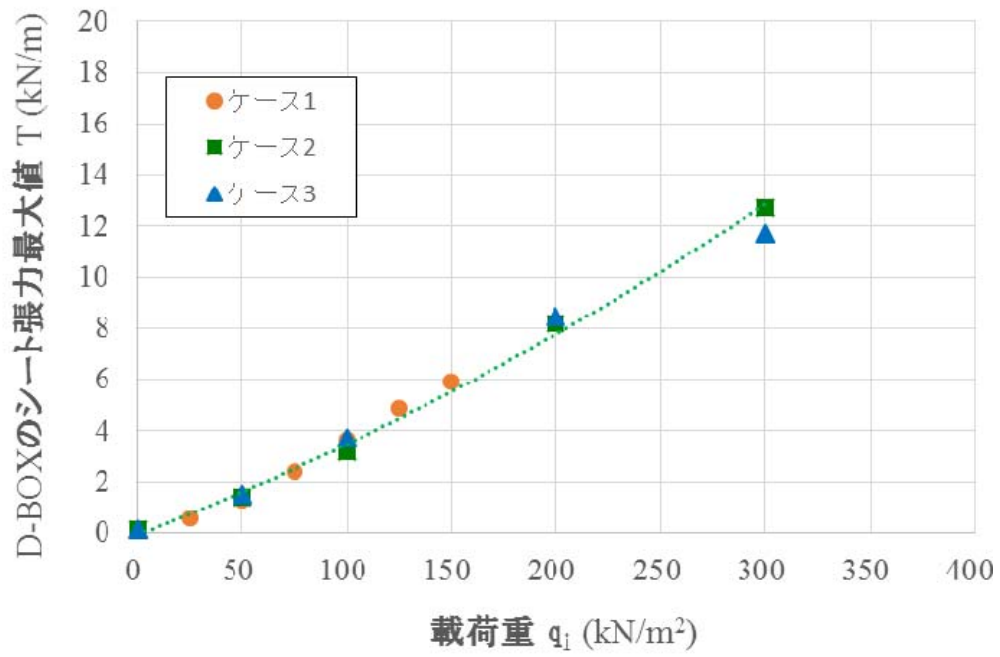


図 7.5-4 載荷重と D-Box 基礎のシートの発生最大張力との関係 (FEM 解析結果)

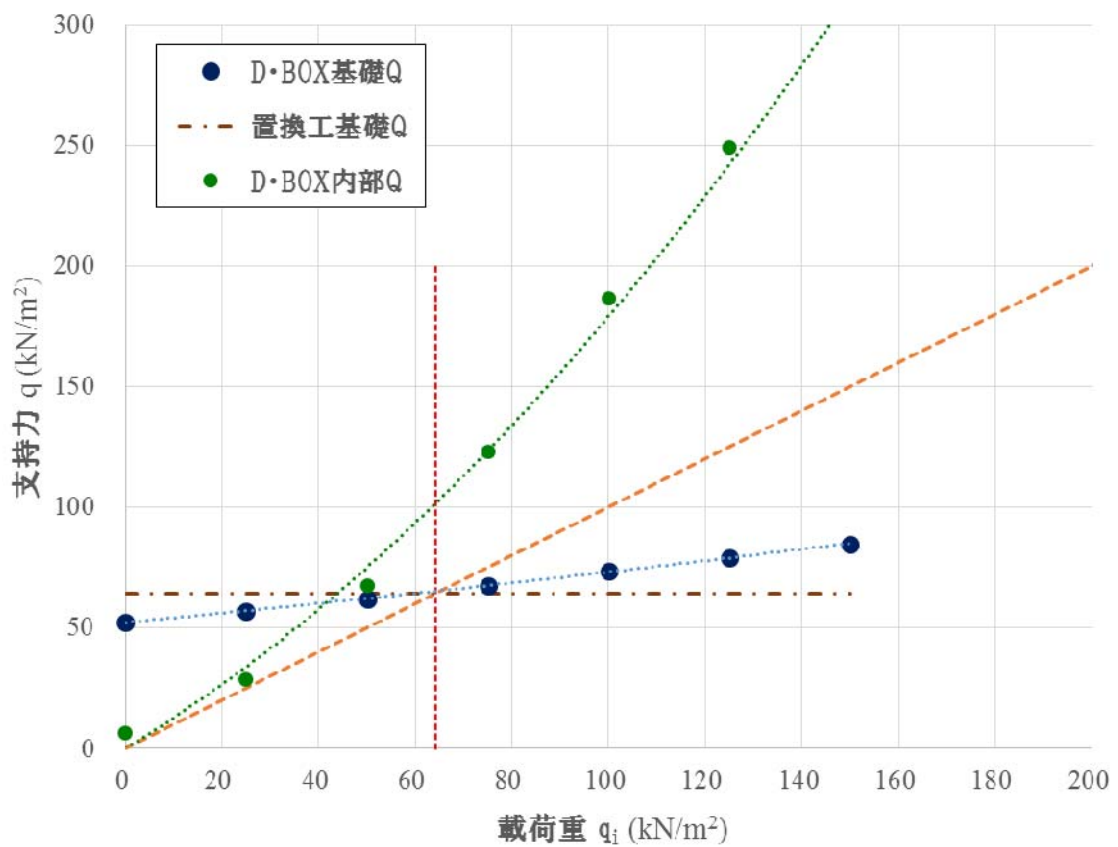


図 7.5-5 各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎・D-BOX 内部・置換工の支持力 (ケース 1)

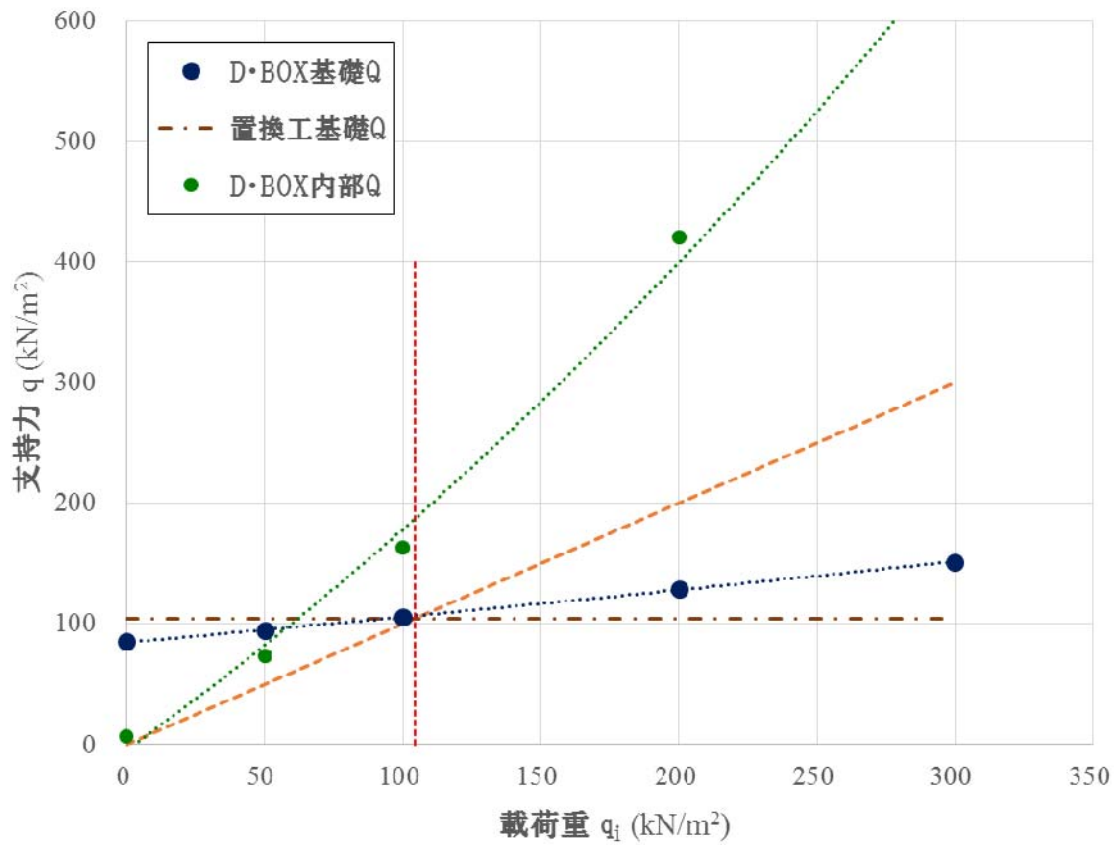


図 7.5-6 各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎・D-Box 内部・置換工の支持力 (ケース 2)

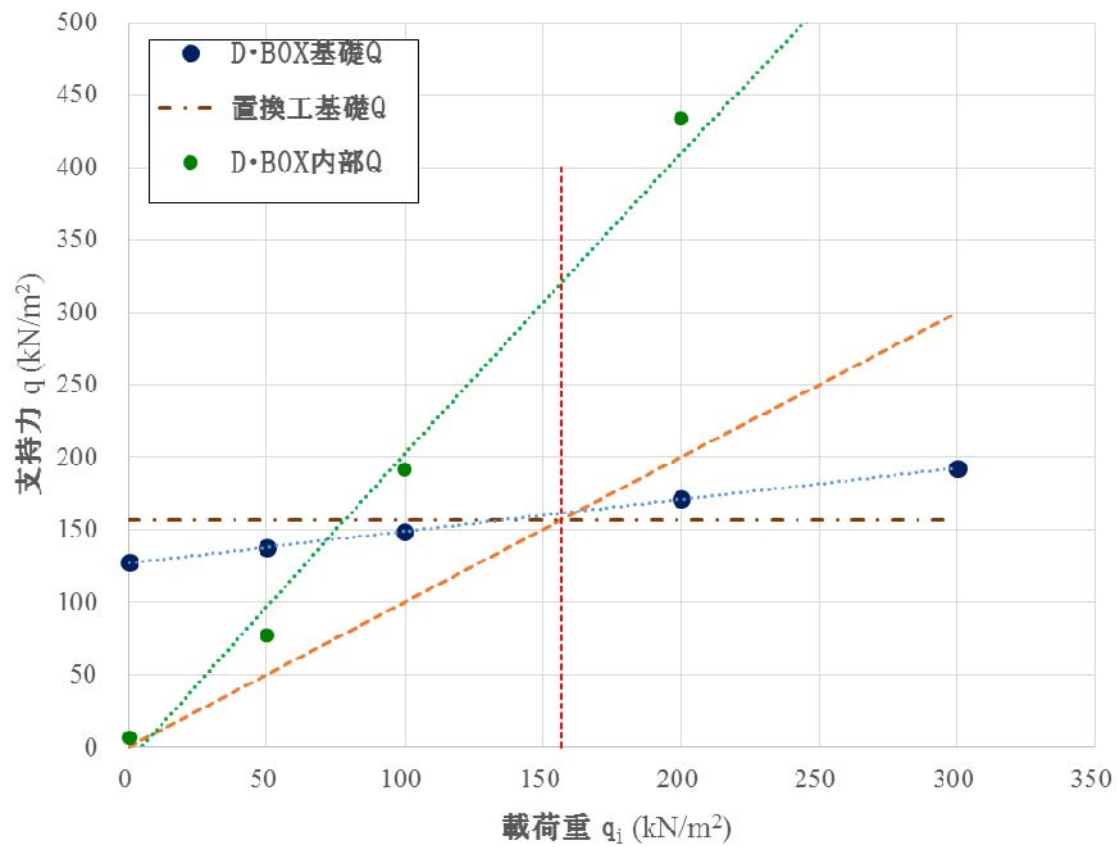


図 7.5-7 各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎・D-Box 内部・置換工の支持力 (ケース 3)

表 7.5-2 D-Box 基礎の極限支持力のケーススタディ結果

ケース	1	2	3
D-Box 基礎の極限支持力 Q kN/m ²	64.3	104.4	156.6
D-Box 基礎のシート設計張力 T _s kN/m ²	2.1	3.7	5.9
D-Box 基礎の極限支持力時 の沈下量 S cm	8.8	9.0	9.9
置換工の極限支持力 Q kN/m ²	64.3	104.4	156.6
基礎地盤の支持力 q _a kN/m ²	52.28	84.88	127.32
基礎地盤の粘着力 c kN/m ² c=q _a /(α×N _c)	8.48	13.76	20.64

3) 解析結果の考察

載荷重の幅が D-Box 基礎幅と同じ場合は、D-Box 基礎の極限支持力は、同じ材料・同じ厚さの置換工の極限支持力（荷重分散効果見込む）と同程度になる。ただし、置換工との大きな違いは、D-Box 内部の支持力は載荷重に対して余裕があるため、D-Box 基礎の極限支持力を超過する荷重が載荷されても、直ちに基礎が破壊して大きな変位が発生するわけではない。図 7.5-3 に示す載荷重と沈下量の関係で、塑性変位が進行していくことになる。

D-Box 基礎の支持力は、載荷重の幅及び D-Box を設置する基礎地盤（軟弱地盤）の支持力の影響を受ける。特にシートに発生する張力は、載荷重の幅の影響が大きく、D-Box 基礎幅に対する載荷重の幅が小さいほど、D-Box 基礎は大きな支持力を発揮することができる。

(2) 載荷重幅 0.6m の場合の支持力計算

1) 解析条件・方法

FEM 解析により、D-Box に作用する載荷重の幅を 0.6m に（平板載荷試験の載荷板の倍）した場合の載荷重と沈下量の関係を求め、D-Box 基礎の支持力を検討した。基礎地盤のモデルは、平板載荷試験結果（PLT-K-1）及びその再現解析 FEM モデル（支持力 $q_a=84.88 \text{ kN/m}^2$ ）を用いた。また、D-Box 基礎と同じ厚さ・材料の置換工の極限支持力と比較した。解析条件は以下のとおりである。

○D-Box（LS-100）基礎形状及び載荷重の幅

- 載荷重の幅 $B_a=0.6\text{m}$
- D-Box の高さ $H=0.25\text{m}$ 、D-Box の幅 $B=1.0\text{m}$
- 載荷重 $q_i=50、100、200、300、400、500\text{kN/m}^2$
- D-Box（LS-100）基礎及び基礎は地表面に設置

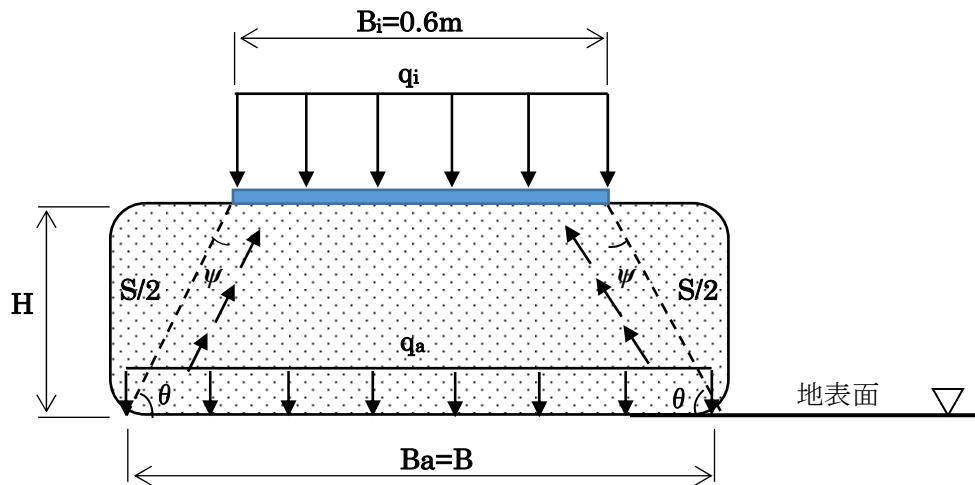


図 7.5-8 載荷重幅 0.6m 時の D-Box 基礎の支持力計算モデル

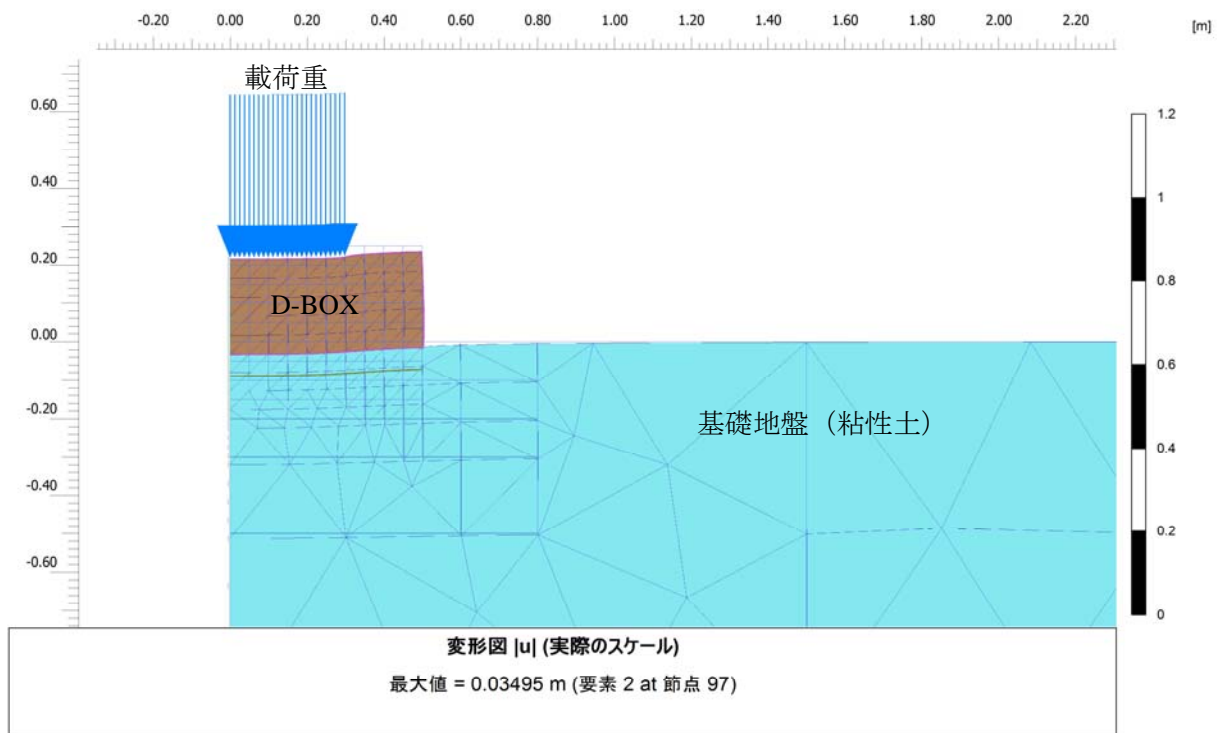


図 7.5-9 載荷重幅 0.6m 時の D-Box 基礎の FEM 解析モデル

○基礎地盤の解析モデル（支持力、粘着力）

- 基礎地盤のモデルは、平板載荷試験結果（PLT-K-1）及びその再現解析 FEM モデルを用いた。試験結果より、支持力は $q_{sa}=84.88 \text{ kN/m}^2$ である。
- 基礎地盤の粘着力 c は、上記の支持力 q_{sa} を、形状係数 α 及び支持力係数 N_c で割って求めた
- 基礎地盤の解析モデル（支持力、粘着力）を表 7.5-3 に示す。

表 7.5-3 基礎地盤の解析モデル

形状係数 α	1.2
支持力係数 N_c	5.14
基礎地盤の支持力 $q_a \text{ kN/m}^2$	84.88
基礎地盤の粘着力 $c \text{ kN/m}^2$ $c=q_a/(\alpha \times N_c)$	13.76

○D-Box 基礎の支持力計算式

- 載荷重の幅が 0.6m の場合、D-Box 基礎の支持力計算式は式 (3.5-2) より、

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B \sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}$$

$$= 1.38 \times q_a + 2.85 \times T_s + 0.25 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (7.5-1)}$$

ただし、 $Q \geq q_i, q_{sa} = q_a$

D-Box 内部の支持力計算式は、 $Q_D = (\text{形状係数 } \alpha) \times (\text{支持力係数 } N_c) \times (\text{粘着力 } c_D)$ であり、式 (3.5-16) で示される。

○置換工の支持力計算式

- D-Box 基礎と同じ厚さ・材料及び同じ載荷幅の置換工の極限支持力は、式 (7.5-1) の荷重分散効果の項のみ期待できるため、式 (7.5-2) で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} = 1.38 \times q_a \dots \dots \dots \text{式 (7.5-2)}$$

2) 解析結果

FEM 解析結果による、載荷重と沈下量の関係を図 7.5-10 に示し、シート張力の載荷重の関係を図 7.5-11 に示す。図 7.5-11 には、載荷重幅 1m の場合 (ケース 2) の FEM 解析結果によるシート張力と載荷重の関係も明示した。

載荷重 q_i に対するシート張力 T を図 7.5-11 より求め、式(7.5-1)に代入し、D-Box 基礎の支持力 Q を算定して、図 7.5-12 に示した。支持力と載荷重が同じになる時 (安全率 1 の状態) を D-Box 基礎の極限支持力 Q とし、この載荷重 q_i に対するシート張力をシートの設計張力 T_s とした。また、同図には式(3.5-16)及び式(7.5-2)より求めた、D-Box 内部の支持力及び置換工の極限支持力を合わせて明示した。

これらの結果をまとめて表 7.5-4 に整理した。

表 7.5-4 D-Box 基礎の極限支持力の解析結果 (荷重幅 0.6m)

D-Box 基礎の極限支持力 Q kN/m ²	176.8
D-Box 基礎のシート設計張力 T_s kN/m ²	5.52
D-Box 基礎の極限支持力時の沈下量 S cm	7.3
置換工の極限支持力 Q kN/m ²	116.88

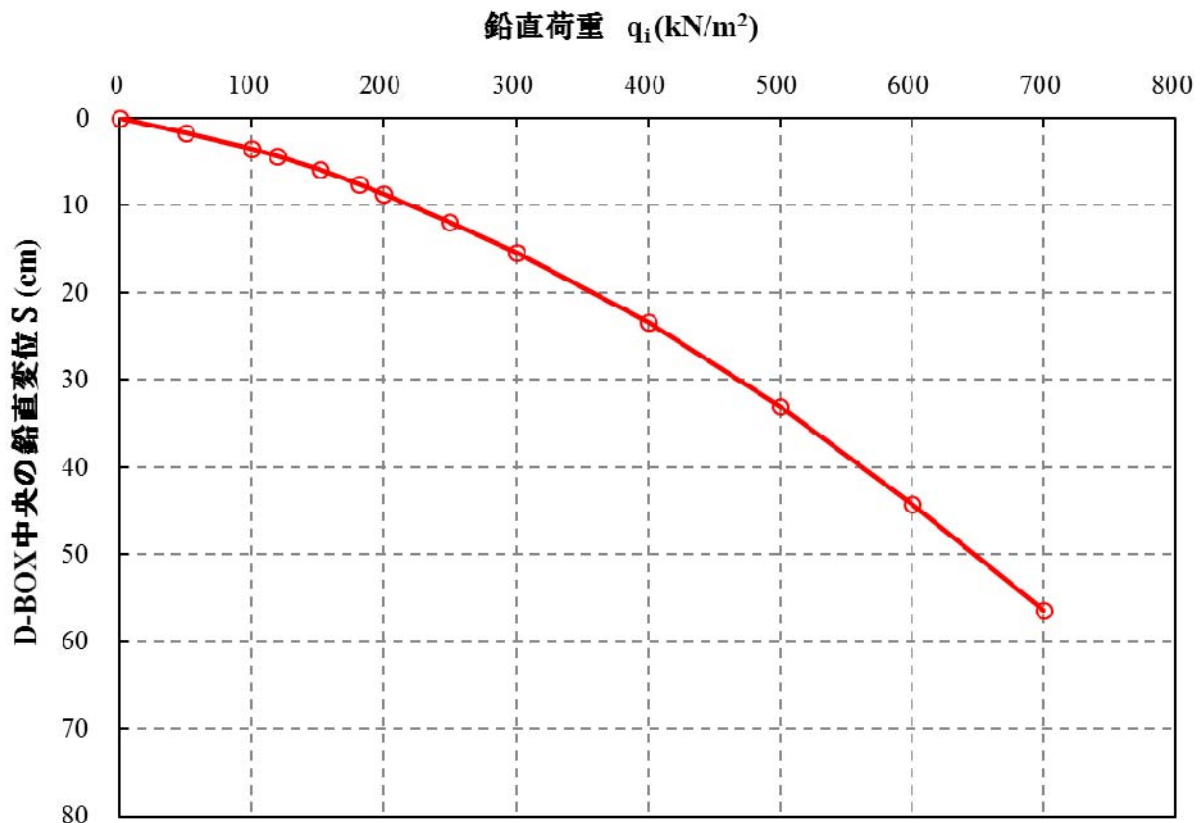


図 7.5-10 載荷重と沈下量との関係 (FEM 解析結果 : 載荷幅 0.6m)

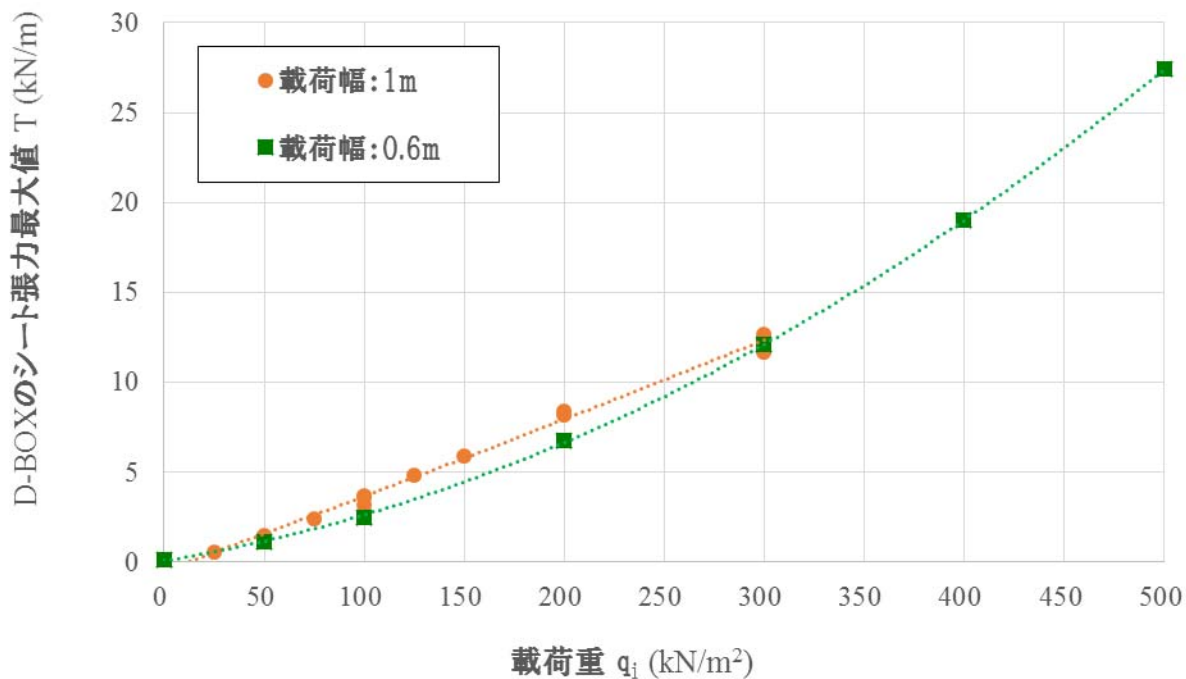


図 7.5-11 荷重と D・Box 基礎のシートの発生最大張力との関係 (FEM 解析結果：荷重幅 0.6m)

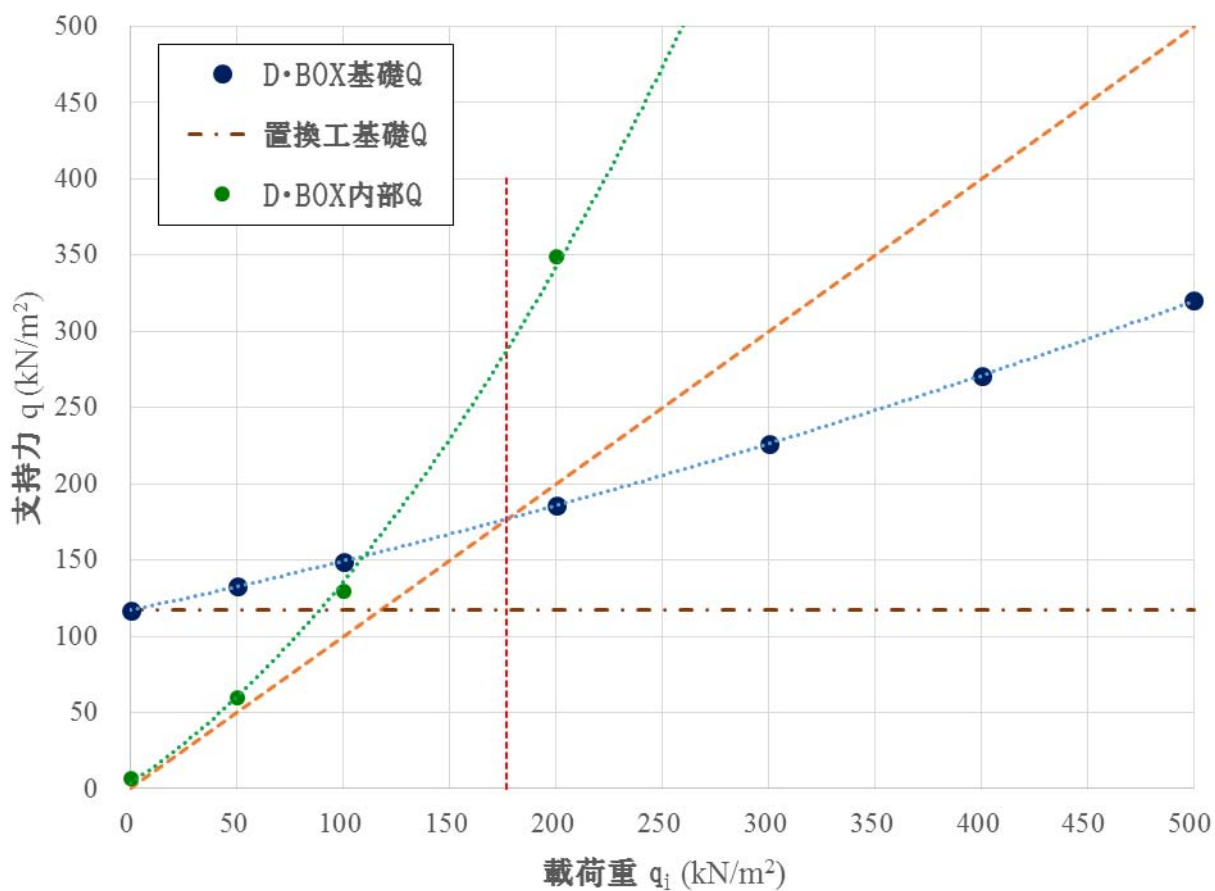


図 7.5-12 各荷重段階における D-Box (LS-100) 基礎・D-Box 内部・置換工の支持力 (荷重幅 0.6m)

3) 検討結果のまとめ

a) D-Box 基礎の支持力

上記①～③の支持力の検討結果より、載荷重幅 0.3m (平板載荷試験の再現解析結果)、載荷重幅 0.6m、載荷重幅 1m (ケース 2) の D-Box 基礎の極限支持力、許容支持力及びシート設計張力、置換工の極限支持力及び許容支持力等の結果をまとめて表 7.5-5 に整理した。

- 基礎地盤の支持力は、すべて平板載荷試験結果 (PLT-K-1) の支持力 $q_a=84.88 \text{ kN/m}^2$ である。
- 許容支持力は、式 (3.5-14) より、安全率 3 として計算した。
- D-Box 基礎の極限支持力時の沈下量及び許容支持力時の沈下量は、FEM 解析結果の載荷重と沈下量の関係より求めた。

表 7.5-5 より、D-Box 基礎の支持力に関する考察は、以下のとおりである。

- 載荷重幅の影響を強く受け、載荷重幅が D-Box 幅に対して小さいほど、D-Box 基礎の支持力は大きくなる。
- D-Box 基礎と同じ厚さ・材料の置換工の支持力に対して、1.0～2.6 倍 (平均 1.7 倍) の効果が期待できる。
- D-Box 基礎の極限支持力時における沈下量は 10cm 程度であり、許容支持力時の沈下量は 1～2cm 程度と小さい。
- D-Box シート張力の許容値を 25 kN/m とすると、D-Box 内部の支持力は 1200 kN/m^2 以上期待できるため、D-Box 基礎の極限支持力を超過する荷重が載荷されても、直ちに基礎が破壊して大きな変位が発生するわけではない。D-Box 自体は破壊せずに形状を維持しながら、基礎地盤の塑性変位が徐々に進行していくことになる。

表 7.5-5 D-Box 基礎の支持力及びシート設計張力

載荷重幅 B_i m	0.3	0.6	1.0
D-Box 幅 B	1.0		
D-Box 基礎の極限支持力 Q kN/m^2	380.0	176.8	104.4
D-Box 基礎の許容支持力 Q kN/m^2	126.7	58.9	34.8
D-Box 内部の許容支持力 Q kN/m^2	1,285		
D-Box 基礎のシート設計張力 (極限支持力時のシート張力) T_s kN/m	7.0	5.5	3.7
D-Box 基礎の極限支持力時 における沈下量 S cm	8.8	9.0	9.0
D-Box 基礎の許容支持力時 における沈下量 S cm	1.9	1.9	1.2
置換工の極限支持力 Q kN/m^2	148.5	116.9	104.4
置換工の許容支持力 Q_a kN/m^2	49.5	39.0	34.8
基礎地盤の極限支持力 q_a kN/m^2	84.88		
基礎地盤の粘着力 c kN/m^2 $c=q_{sa}/(\alpha \times N_c)$	13.76		

b) D-Box のシート張力

表 7.5-5 より、極限支持力時におけるシート張力である D-Box 基礎のシート設計張力 T_s と、荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) との関係を図 7.5-14 に整理した。

図 7.5-14 より、D-Box 基礎のシート設計張力 T_s と、荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) との関係は、式 (7.5-3) で示される。

$$T_s = -4.7 \times (B_i/B) + 8.4 \dots \dots \dots \text{式 (7.5-3)}$$

なお、図 7.5-13 に示すように、荷重が連続する D-Box に作用する場合の D-Box 基礎のモデル幅 B_x は、荷重が作用する個々の D-Box 幅の合計と考え、式 (7.5-3) の B を B_x に置換える。

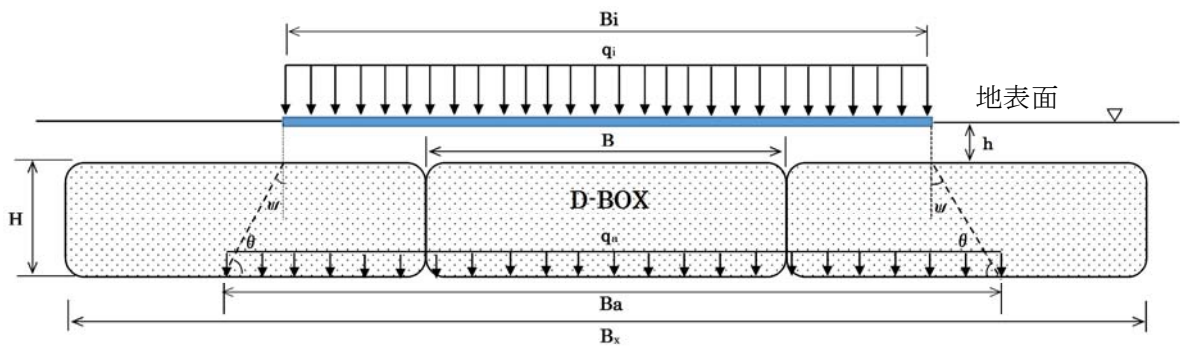


図 7.5-13 荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の考え方

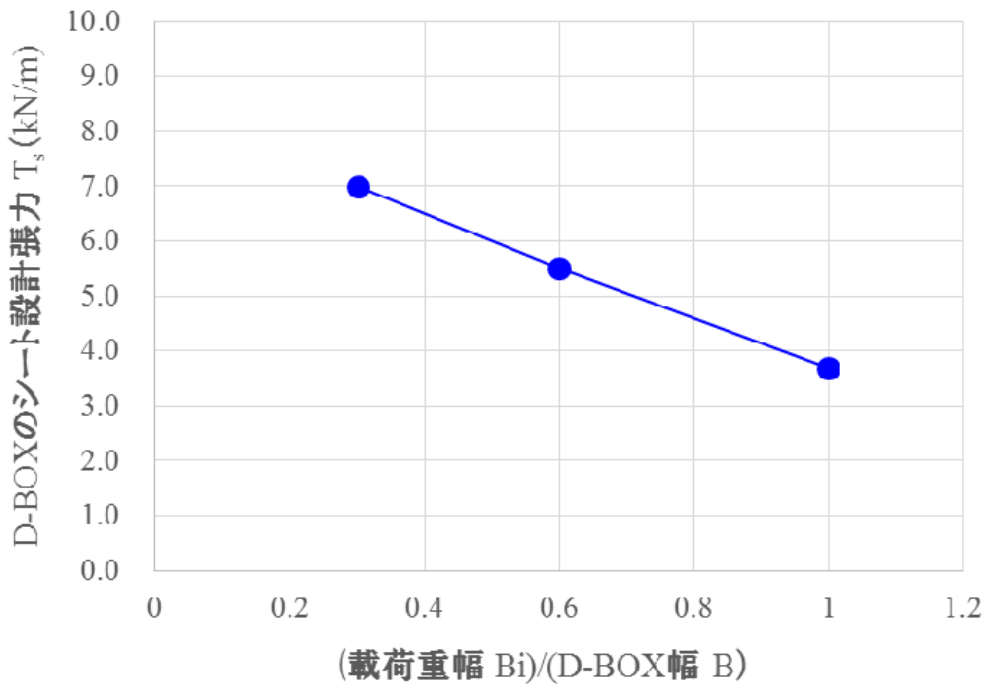


図 7.5-14 「D-Box 基礎のシート設計張力 T_s 」 と 「荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) 」

表 7.5-2 より、 $(B_i/B) = 1$ で、基礎地盤の極限支持力が $q_a = 52.28 \text{ kN/m}^2$ 、 $q_a = 127.32 \text{ kN/m}^2$ の時におけるシート設計張力 T_s は、それぞれ、 $T_s = 2.1 \text{ kN/m}$ 、 $T_s = 5.9 \text{ kN/m}$ である。

式 (7.5-3) の基礎地盤の極限支持力は $q_a = 84.88 \text{ kN/m}^2$ であり、 $(B_i/B) = 1$ のシート設計張力 T_s は 3.7 kN/m である。基礎地盤の支持力が変化しても、式 (7.5-3) の第一項は同じであると仮定すると、表 7.5-6 に示すように、基礎地盤の極限支持力に対応した「D-Box 基礎のシート設計張力 T_s 」と「載荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) 」の関係式となる。

表 7.5-6 「シート設計張力 T_s 」と「載荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) 」の関係式

基礎地盤の 粘着力 $c \text{ kN/m}^2$	基礎地盤の極限支持力 $Q \text{ kN/m}^2$	「D-Box 基礎のシート設計張力 T_s 」と「載荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) 」の関係式
20.64	127.32	$T_s = -4.7 \times (B_i/B) + 10.6$
13.76	84.88	$T_s = -4.7 \times (B_i/B) + 8.4$
8.48	52.28	$T_s = -4.7 \times (B_i/B) + 6.8$

以上より、式 (3.5-2) の支持力計算式と表 7.5-6 に示す「シート設計張力 T_s 」と「載荷重幅 B_i と D-Box 基礎幅 B の比 (B_i/B) 」の関係式を用いる事で、基礎地盤の支持力と荷重載荷幅に応じた、D-Box 基礎の支持力を求めることができる。

(3) D-Box (LS-100) 基礎の極限・許容支持力の計算例-1 (横断方向)

1) 計算条件

D-Box (LS-100) を1段積み・3列配置、載荷重幅 $B_i=1.8\text{m}$ における、D-Box 基礎の極限支持力及び許容支持力を計算する。計算条件は、図 7.5-15 及び表 7.5-7 に示すとおりである。

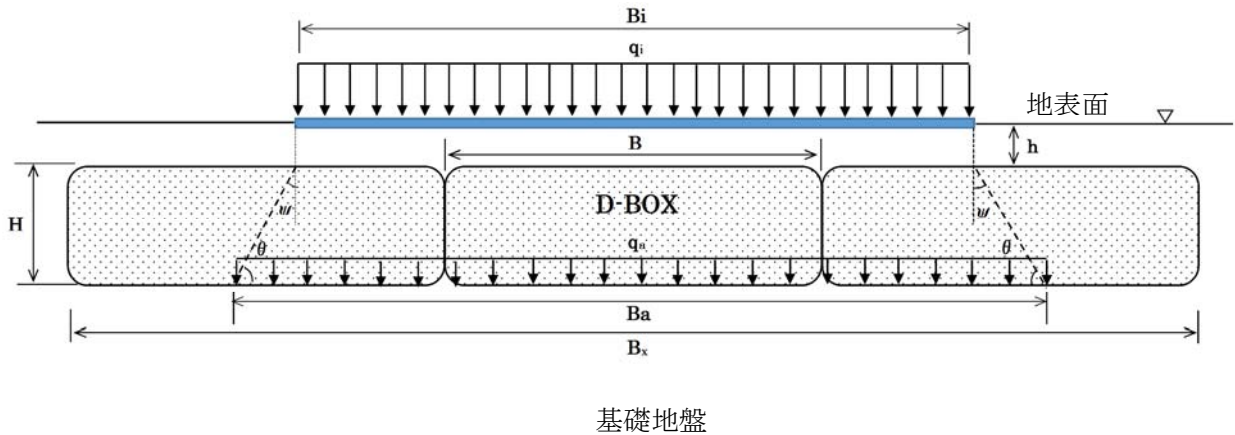


図 7.5-15 D-Box (LS-100) 基礎の支持力計算条件の断面図-1

表 7.5-7 D-Box (LS-100) 基礎の支持力計算条件-1

載荷重幅 B_i m	1.8	載荷重の分散幅 B_a m	2.03
D-Box 土被り高 h m	0.15	D-Box 高さ H m	0.25
D-Box 幅 B m	1.0	D-Box 基礎のモデル幅 B_x m	3.0
中詰め材の内部摩擦角 ϕ°	41.1	$\Psi=45 - \phi/2$ °	24.3
基礎地盤の粘着力 c kN/m ²	14	基礎地盤の極限支持力 q_{sa} kN/m ²	85.7

2) 支持力計算式

D-Box 基礎の極限支持力 Q は、式 (a) の関係式で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + N \cdot \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left(\frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos \phi + \left(\frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}$$

..... 式 (a)

ここに、 $Q \geq q_i$ q_i : 載荷重、 $Q_a \geq q_a$ q_a : 分散荷重

N : D-Box の計算断面における個数 (荷重が作用している D-Box の個数)

→ 今回の計算条件では、 $N=3$

許容支持力は、安全率を $F_s=3$ とすると、式 (b) となる。

$$(Q_a)_{D-BOX} = \frac{1}{F_s} \times Q = \frac{1}{3} \times Q \quad \text{..... 式 (b)}$$

D-Box のシート設計張力 T_s は、式 (c) の関係式で示される。

$$T_s = -4.7 \times (B_i/B_x) + 8.4 \quad \text{..... 式 (c)}$$

3) 支持力計算結果

a) D-Box 基礎の支持力

表 7.5-7 の計算条件を式 (a) に代入すると、

$$Q = 1.13 \times q_a + N \cdot (0.95 \times T + 0.08 \times q_i) = 1.13 \times 85.7 + 2.85 \times T + 0.24 \times q_i$$

$$= 96.84 + 2.85 \times T + 0.24 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (d)}$$

T = T_s と置換え、式(d)に式 (c) を代入すると

$$Q = 96.84 + 2.85 \times \{-4.7 \times (1.8/3.0) + 8.4\} + 0.24 \times q_i$$

$$= 112.74 + 0.24 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (e)}$$

極限支持力は、Q = q_i となるので、これを式(e)に代入すると

$$Q = 112.74 + 0.24 \times Q$$

$$0.76 Q = 112.74 \rightarrow Q = 148.34 \text{ kN/m}^2$$

許容支持力は、式(c)より、(Q_a)_{D-BOX} = Q / 3 = 148.34 / 3 = 49.45 kN/m²

4) 置換工法の支持力

図 7.5-15 の D-BOX 基礎と同じ材料・厚さ・幅の置換工法の場合の極限支持力は

$$Q = 1.13 \times q_a = 1.13 \times 85.7 = 96.84 \text{ kN/m}^2$$

置換工法の許容支持力は、Q_a = Q / 3 = 96.84 / 3 = 32.28 kN/m²

5) まとめ

支持力計算結果をまとめて表 7.5-8 に示す。

D-Box 基礎の支持力は、想定される列車等の荷重に対して、許容支持力で 1.8 倍程度の余裕があり、置換工法の 1.5 倍の支持力補強効果が期待できる。

表 7.5-8 D-Box (LS-100) 基礎及び置換工法の支持力計算結果-1

D-Box 基礎		置換工法		Q ₁ / Q ₂ Q _{a1} / Q _{a2}	列車等の想定 荷重 q kN/m ²
極限支持力 Q ₁ kN/m ²	許容支持力 Q _{a1} kN/m ²	極限支持力 Q ₂ kN/m ²	許容支持力 Q _{a2} kN/m ²		
148.34	49.45	96.84	32.28	1.53	28.2

(4) D-Box (LS-100) 基礎の極限・許容支持力の計算例-2 (縦断方向)

1) 計算条件

D-Box (LS-100) を1段積み・21列配置、載荷重幅 $B_i=20.0\text{m}$ における、D-Box 基礎の極限支持力及び許容支持力を計算する。計算条件は、図 7.5-15 及び表 7.5-7 に示すとおりである。

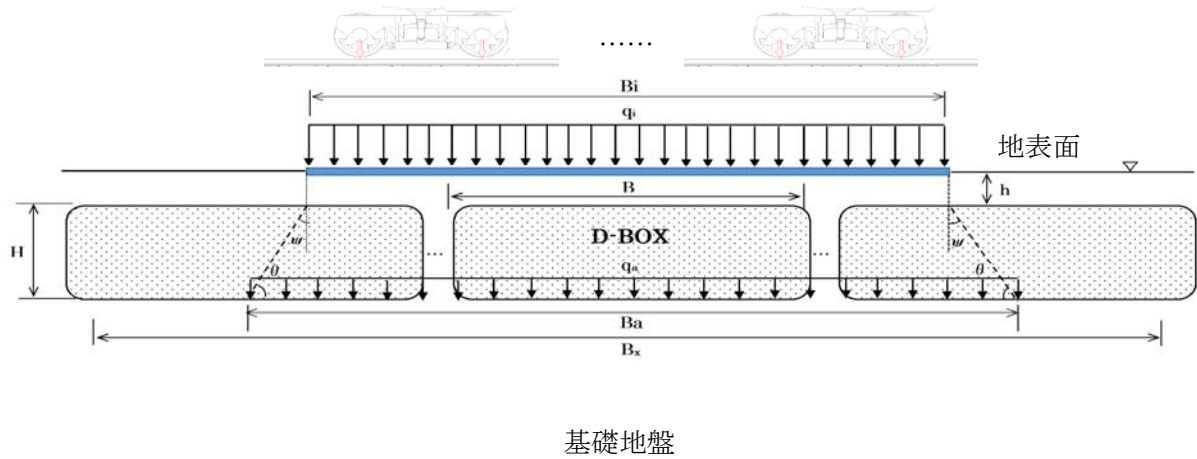


図 7.5-16 D-Box (LS-100) 基礎の支持力計算条件の断面図-2

表 7.5-9 D-Box (LS-100) 基礎の支持力計算条件-2

載荷重幅 B_i m	20.0	載荷重の分散幅 B_a m	20.23
D-Box 土被り高 h m	0.15	D-Box 高さ H m	0.25
D-Box 幅 B m	1.0	D-Box 基礎のモデル幅 B_x m	21.0
中詰め材の内部摩擦角 ϕ°	41.1	$\Psi=45 - \phi/2$ °	24.3
基礎地盤の粘着力 c kN/m ²	14	基礎地盤の極限支持力 Q_a kN/m ²	85.7

2) 支持力計算式

支持力計算式は、(3) に示す式を用いる。

3) 支持力計算結果

a) D-Box 基礎の支持力

表 7.5-9 の計算条件を式 (a) に代入すると、

$$Q = 1.01 \times q_a + N \cdot (0.086 \times T + 0.07 \times q_i) = 1.13 \times 85.7 + 1.81 \times T + 0.15 \times q_i$$

$$= 86.55 + 1.81 \times T + 0.15 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (f)}$$

T = T_s と置換え、式 (f) に式 (c) を代入すると

$$Q = 86.55 + 1.81 \times \{-4.7 \times (20/21) + 8.4\} + 0.15 \times q_i$$

$$= 93.65 + 0.15 \times q_i \dots \dots \dots \text{式 (g)}$$

極限支持力は、Q = q_i となるので、これを式(g)に代入すると

$$Q = 93.65 + 1.15 \times Q$$

$$0.85 Q = 9.365 \rightarrow Q = 110.17 \text{ kN/m}^2$$

許容支持力は、式(c)より、(Q_a)_{D-BOX} = Q / 3 = 110.17 / 3 = 36.72 kN/m²

b) 置換工法の支持力

図 7.5-16 の D-BOX 基礎と同じ材料・厚さ・幅の置換工法の場合の極限支持力は

$$Q = 1.13 \times q_a = 1.13 \times 85.7 = 96.84 \text{ kN/m}^2$$

置換工法の許容支持力は、Q_a = Q / 3 = 96.84 / 3 = 32.28 kN/m²

4) まとめ

支持力計算結果をまとめて表 7.5-10 に示す。

D-Box 基礎の支持力は、想定される列車等の荷重に対して、許容支持力で 1.3 倍程度の余裕があり、置換工法の 1.1 倍の支持力補強効果が期待できる。

表 7.5-10 D-Box (LS-100) 基礎及び置換工法の支持力計算結果-2

D-Box 基礎		置換工法		Q ₁ / Q ₂ Q _{a1} / Q _{a2}	列車等の想定 荷重 q kN/m ²
極限支持力 Q ₁ kN/m ²	許容支持力 Q _{a1} kN/m ²	極限支持力 Q ₂ kN/m ²	許容支持力 Q _{a2} kN/m ²		
110.17	36.72	96.84	32.28	1.13	28.2

通常の鉄道では、横断方向と縦断方向の D-Box 基礎の支持力計算結果を比較し、小さい方の支持力で安定性を判断して設計する。

今回の計算例の D-Box 基礎の支持力は以下の通りである。この結果から、小さい縦断方向の支持力で安定性を判断する。

横断方向： (Q_a)_{D-BOX} = 49.45 kN/m² > 縦断方向： (Q_a) = 36.72 kN/m²

資料-7

会社設立に関する法制度

1. 会社設立に関する法制度

外国企業がミャンマーに進出する際には、投資法（2016年10月18日成立・同日施行）及び新会社法（2017年12月6日成立、2018年8月1日施行予定）、また関連省庁による関連法を考慮する必要がある。進出形態によりいずれの法に基づくかが異なり、またいずれの法に基づくかによって税制優遇措置の付与の有無が異なる。新会社法は細則が未交付のため、まだ詳細が不明であり、今後の情報を注視しつつ進出形態を選択する必要がある。

(1) 投資法

外国投資法及びミャンマー国民投資法を一本化した投資法（Myanmar Investment Law、2016年10月18日成立・同日施行）及び、その施行細則として、発表・施行されたミャンマー投資規則の概要は、表1に示す通りである。

表1 投資法概要

分類	概要
MIC 許可が必要な投資活動	MIC 許可が必要な投資活動は、以下の通りである。 a. 国にとって戦略的に重要である投資事業、 b. 多額の資本を集約する投資、 c. 自然環境や地域社会に多大な影響を及ぼす可能性が高い事業、 d. 国有の土地・建物を使用する投資、 e. 政府によって指定された投資事業
所得税の免税	投資促進すべきものとして MIC が通知で指定した業種にのみ与えられる。 投資促進業種のリストは 20 業種が挙げられ、更に 186 種類に分類され国際的な分類コード (MSIC、CPC) が示されている。投資促進業種は主に、農業や畜産水産、インフラ建設、教育・学術、運輸・通信、保健、観光などである。 (2017年4月1日付 MIC 通知書 13 号/2017) ただし、免税審査にあたっては、以下の必須基準を全て満たす必要がある。 (a) ミャンマー国内の法律に従って行動し、投資を行っていること。 (b) 免税又は減税の申請を本法律に従って行っていること。 (c) 所得税の免除につき、すべての投資が奨励分野で行われること。 (d) ミャンマー国内における追加資金及び追加資本の拠出額が 30 万ドルを超えること。 (e) MIC 許可若しくは是認を取得した又は申請中であること。

	<p>(f) 所得税免除申請の場合、ミャンマー投資委員会が定める告示で規定されたゾーン 1、2、3 又はこれら複数にまたがって投資を行っていること。</p> <p>(2017年 3月 30日付 MOF 通知書 35号/2017)</p>
所得税の免除期間	<p>ミャンマー投資委員会が指定する低度開発地域、中度開発地域、高度開発地域の 3つの地域に応じて、それぞれ 7年間、5年間、3年間と定められている。</p> <p>(開発ゾーンの具体的な割り当ては、2017年 2月 22日付 MIC 通知書 10号/2017で規定された。)</p>
規制業種リスト (ネガティブリスト)	<p>新投資法における規制業種リスト (ネガティブリスト)</p> <p>①連邦政府のみが実施可能な業種、 ②外資による実施が禁止される業種、 ③ミャンマー内資会社との合弁でのみ実施可能な業種、 ④関係当局による承認が必要な業種</p> <p>計 169 の業種が国際的な分類コード (ISIC、CPC) 付きでリストアップされている。また、航空輸送業種の定義が明確にされた。これまで商業 (小売・卸売) については、「店舗面積が 10,000ft.² 又は 929 m²未満のミニマート、コンビニエンスストア」は、②外資による実施が禁止される業種と規定されている。当該面積を超える店舗での商業は可能であると考えられる。ただし、「ミニマート」「コンビニエンスストア」の定義が示されていないため、今後の情報を注視する必要がある。</p> <p>(2017年 4月 10日付 MIC 通知書 15号/2017)</p>
MIC 許可申請手続	<p>MIC 許可申請手続は、基本的には従来の外国投資法下の MIC 許可手続と同様の手続であるが、審査期間が 60日に短縮された。また、土地権利認可 (Land Rights Authorization) または税制優遇措置について MIC 許可と同時に申請ができるとされている。</p>
エンドースメント申請手続	<p>エンドースメントは土地権利認可や税制優遇措置と関連する認可である。MIC 許可が必要となる投資事業の場合には、それらの申請をなす際に必須となる (MIC 許可と同時に申請可能)。また、MIC 許可の取得が必須となる投資以外の投資を行う者が長期賃貸借や税の減免の恩恵を受けたい場合にも申請することが可能。</p> <p>手続の流れ：受理後に審査 審査期間：受理から 30日 審査内容：事業評価チームによる審査がない。投資内容及び投資家の適格性が問題にされない。</p>

州・地方投資委員会 (State or Regional Investment Committee)	<p>州・管区投資委員会 (State or Regional Investment Committee) が設置され、一定額以下の投資については、州・管区投資委員会がエンドースメント審査を行うことができ、MIC 許可についても一定の場合州・管区投資委員会が審査を行うことができる。ただし、州・管区投資委員会が審査を行うことができる投資に関しても、州・管区投資委員会ではなく MIC にエンドースメント申請することが可能。</p> <p>エンドースメント審査が可能な一定額については、現在 500 万 USD 又は 60 億 MMK 以下 (2017 年 3 月 3 日付ミャンマー投資委員会通知 11 号/2017)。</p> <p>複数の州又は管区への投資や業種規制のある投資活動についての MIC 許可及びエンドースメントは、MIC のみが審査を行う。</p>
移行期間	ミャンマー投資規則の施行日からの 24 カ月間

※MIC：ミャンマー投資委員会 (Myanmar Investment Committee)

出典：DICA ホームページを基に調査団作成

(2) 新会社法

新会社法 (Myanmar Company Act、2017 年 12 月 6 日成立、2018 年 8 月 1 日施行予定) が間もなく施行される見込みであるが、細則が発表されつつあり、まだ不明な点も残されている。そのため、新会社法で変わった点を表 2 新会社法における改正点にまとめた。

表 2 新会社法における改正点

区分	新会社法	旧会社法
外資会社の定義	<p>外資会社とは、海外企業、外国人又はその両者によって直接的若しくは間接的に所有もしくは支配され、持分比率が 35% 超のミャンマーに設立された会社と定義されている。つまり、海外企業、外国人又はその両者による持分比率が 35% 以下であれば、会社法上は内資会社となる。</p> <p>ただし、その他の法律においても、35% 以下であれば内資会社として扱われるとは明言されていないため、それらの法律における外資会社又は外国人の定義がどのように解釈されるのか注意する必要がある。</p>	<p>持分権者に 1 名でも外国人または外国企業が含まれる場合には外資会社となる。ミャンマー投資法に定める外資禁止業種への従事が禁止される。</p>
取締役の人数及び	<p>非公開会社 (private company) の場合、取締役は最低 1 名で良い。ただし、取締役のうち 1 人はミャン</p>	<p>非公開会社：最低株主 2 名 (外国企</p>

取締役の常駐	<p>マー居住者でなければならない。居住者とは「法律に基づいた永住者」か「12カ月のうち少なくとも183日間滞在する居住者」と定義されている。</p> <p>旧会社法に基づいて設立済の企業については、新会社法の施行日以降12ヶ月以内に183日以上滞在していれば、常駐者と見なされる。新会社法に基づいて設立される会社については、登記日以降12ヶ月以内に183日以上滞在していれば常駐者となる。</p> <p>また、取締役の解任の要件は特殊決議から普通決議に緩和された。</p>	<p>業は全て非公開会社とする)</p> <p>取締役の解任の要件：特殊決議が必要とされる。</p>
非公開会社	<p>従業員数50名未満（雇用主を含める）</p> <p>株式非公開</p> <p>会社法により株式の譲渡が制限される場合がある</p>	
営業許可の廃止	<p>営業許可の制度が廃止され、政府への登録制となった。</p> <p>新会社法では「繰り返し行われたい30日以内に完了する取引」などは「事業」として扱わないことが規定された。これ以外の企業活動は「事業」として扱われ、政府への登録が必要となる見込み。</p>	<p>外国企業は営業許可を取得しない限り、ミャンマーで「事業」を行ってはならないと規定。</p>
小規模会社は監査報告書、年次総会等を免除	<p>小規模会社は、監査報告書の提出義務や毎暦年一回の年次株主総会の開催義務が免除されている。</p> <p>なお、小規模会社とは、公開会社及びその子会社以外の会社であり、その会社及びその子会社の従業員数が30人以下であり、その会社及びその子会社の、前会計年度の年間収益が総額5千万MMK未満である会社と定義されている。</p>	
書面決議及び電話会議	<p>取締役会及び株主総会のいずれにおいても、書面決議が許容されることが明確にされた。また、株主総会及び取締役会は、技術を利用して会議を招集、開催することができることが明記された。なお、技術を利用した会議については、株主総会は定款に、取締役会は全取締役の同意を得る又は定款に定める必要がある。</p>	
株主の数	<p>株主1名のみであっても会社を設立でき、100%子会社も設立できるようになった。</p>	<p>非公開会社：最低株主2名（外国企業は全て非公開会社とする）</p>

会社の権利能力	あらゆる事業又は活動を行うことができるとして権利能力の範囲が拡大された。 また、外資会社に対する営業許可制度も廃止された。	会社の権利能力の範囲は定款の事業目的に限定。
移行期間	新会社法の施行後も、旧会社法の下で登記された会社は有効に存続する。ただし、施行後 12 ヶ月間の移行期間内に、常駐の取締役を指名しなければならない。	

出典；JETRO の 2017 年 ミャンマー法令・通達調査レポート及び DICA ウェブサイトを基に調査団作成

(3) 商業省

商業省は、外資会社及び合弁会社に、農業用肥料、種子、殺虫剤、医療用機器及び建設資材の貿易を認めている。これらの貿易について、2017 年 6 月 12 日付 MOC 通知書 36 号/2017 にて、以下が規定された。

上記 4 品目の貿易を行う外資会社及び合弁会社が従う規定は以下の通り。

- 貿易許可を取得すること
- 農業用肥料、種子、殺虫剤、医療用機器及び建設資材の小売及び卸売が認められる
- 輸出者・輸入者登録証明を申請する際に、DICA が発行した Form6、26 及び銀行残高を提出しなければならない
- 輸入品目は、管轄局の規定及び基準に従わなければならない
- 小売及び卸売にあたって法令に従わなければならない
- 貿易事業のための投資資本を外貨で示さなければならない

外資会社及び合弁会社による上記品目の貿易手続きは、現在、内資会社に対して適用されている手続きと同様とされることが規定されている。また、外資会社に貿易が認められる品目リストについては、国内の需要、市場の状況及び国内のビジネス状況に従って変更される旨が記載されている。

(4) ミャンマー国税制度

税制上の優遇措置に関しては投資法、会社法及び関連省庁の規制を鑑みて確認する必要があるが、現在、まだ法規制が出揃っていない状況であるため、進出形態に応じて最新の情報を注視する必要がある。現時点の国税制度概要は以下の通りである。

表 4 国税制度概要

法人所得税（表面税率）	25%
個人所得税（最高税率）	25%

付加価値税（標準税率）	5%
日本への利子送金課税（最高税率）	15%
日本への配当金送金課税（最高税率）	0%
日本へのロイヤルティー送金課税（最高税率）	15%

出典：JETRO 2017 年度 アジア・オセアニア投資関連コスト比較調査（2018 年 3 月）

2. 進出形態の検討

本事業の企画書の段階では、2015 年 9 月に、旧会社法に基づいた現地法人を設立し、製品の開発・販売、地盤改良のコンサルティング・調査・計画・設計、技術指導を行う予定であったが、当時進出後の共同事業を見込んでいたパートナーとの折り合いがつかず、現地法人の設立を見送っていた。

当時は外資が 1 %でも入ると外資会社と規定されており、また外資規制が厳しかったため合弁会社の可能性が低かったが、現在は持分比率 35%以下ならば内資会社となることから、本事業内で選出したパートナーとの折り合いがつけば合弁会社（内資会社）とする可能性もある。特に、会社法で規定されている常駐取締役を輩出することは当社の人員的に現実的に厳しいため、パートナーとの合弁会社（外資会社あるいは内資会社）とし、取締役を 2 名配置し、パートナー側から選出した取締役を常駐取締役とすることで、規定を満たす方針が望ましいと考えられる。

事業規模としては、本事業実施の間に現地縫製工場との調整がついたことから、今後も当面は製造を現地縫製工場に委託することとし、自社工場を持たない進出形態となる。また、本邦への貿易に関しても、工場から手配することとなるため、商業省が定義する製造業及び貿易業には該当しない見込みである。工場設立を伴わない進出形態のため投資額も大規模にならない見込みであり、基本的には MIC 許可を不要となる条件を満たすことが可能と考えられる。ただし、MIC 許可が不要となる条件のうち、土地又は建物のリース又はライセンスの期間については注意が必要（5 年以下場合には MIC 許可が必要）である。さらに、従業員数を 30 人以下とし、年間収益が総額 5 千万 MMK 未満であれば、会社法における小規模会社の定義を満たし、監査報告書及び年次総会を免除されるため、現地法人に関わる手続きの簡素化が期待されるため、小規模会社としてのスタートも視野に入れて検討することが望ましい。

以上から、現地法人を設立するにあたっては、日本法人の 100%子会社（外資会社）は除外し、基本的な運営は現地パートナー側に任せ、日本法人からの案件毎の技術者派遣をベースとする持分比率が 35%以下での合弁会社（内資会社）、あるいは、日本法人と現地パートナーの持分比率が 50%50%とした合弁会社（外資会社）が考えられる。

表5 考えうる進出形態

業種	サービス業（製品の開発・販売、地盤改良のコンサルティング・調査・計画・設計、技術指導）	
進出形態	合弁会社 (内資会社)	合弁会社 (外資会社)
日本法人による持分比率	35%以下	50%
現地パートナーによる持分比率	35%以上	50%
取締役	複数 ● 持分比率に比例して選任 ● 現地パートナー側の取締役を常駐取締役とする。	2名 ● 日本法人から1名を選任、現地パートナーから1名を選任) ● 現地パートナー側の取締役を常駐取締役とする。
運営（現地パートナー側が主導する業務内容）	製品の販売、地盤改良のコンサルティング・調査・計画、技術指導	製品の販売、地盤改良のコンサルティング・調査・計画・設計、技術指導
運営（日本法人側が人材派遣する業務内容）	製品の開発、設計、技術指導	製品の開発、地盤改良のコンサルティング・計画・設計、技術指導

3. 知的財産権関連法について

D-Box 工法は比較的簡易に導入できる技術・製品である点が優れているが、同時に、模倣可能な技術・製品でもあると言える。特に製品単体については模倣品の流通が予想されるため、既に緬国において商標・特許を2013年9月に登記、2016年9月に再登記している。TRIPS協定により2021年までに緬国の知的財産法が制定されるため、新法施行時には特許を取得し、模倣品摘発の権利を強化する。権利を元に、縫製工場、現地パートナー等と連携し、模倣品摘発を実施していく。また、製品だけでなく設計・施工技術に特徴があることを顧客や関係機関等へ周知し、メトリー現地法人による設計への信頼性を認識させ、模倣品による施工を防止する。

ミャンマーは1995年1月に世界貿易機関（World Trade Organization、略称WTO）に加盟し、「知的所有権の貿易関連の側面に関する協定（Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights, TRIPS協定）」の履行義務を負っている。この協定の履行の経過措置期間の期限は2013年7月1日から2021年7月1日に延長されて

いるが、ミャンマー政府としても知的財産権制度の重要性を認識しており、2018年には知財法が成立する可能性がある（現在、特許法、意匠法、商標法、著作権法の法整備及び知的財産庁の設立を検討中である）という情報がある。

今後の展開に注視し、D-Box工法の知的財産権の権利化については適宜対応する必要があると認識している。

資料-8

軌道部及び载荷試験沈下観測結果

**REPORT
ON
MEASUREMENT FOR SETTLEMENT OF D-BOX
AT
CHAUNG PHYAR AND DAUNGGYI STATION
EINME TOWNSHIP, AYEYARWADDY REGION
UNION OF MYANMAR**

METRY TECHNICAL INSTITUTE CO., LTD.

JULY, 2018



**Submitted by:
Fukken Co., Ltd. (Consulting Engineers)
www.myanmargeoconsultant.com**

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCTION	2
1.1	Objective of Survey	2
1.2	Scope of Work	2
1.3	Project Location	2
1.4	Equipment Applied in the Project.....	2
1.5	Survey Team	2
2	MEASUREMENT	3
3	MEASUREMENT RESULT	5

TABLE

Table - 1.1	Specification of Survey Equipment.....	2
Table - 1.2	Member List of Survey Team.....	2
Table - 2.1	Loading Condition.....	3
Table - 3.1	Measurement Results of Railway Truck	5
Table - 3.2	Measurement Results of Loading Test	7

FIGURE

Figure - 1.1	Google Map of Project Area	2
Figure - 2.1	Location of Loading Point	4
Figure - 2.2	Measurement Point of Settlement	4
Figure - 3.1	Settlement Graph of Railway Truck	6
Figure - 3.2	Settlement Graph of Loading Test (L-1).....	8
Figure - 3.3	Settlement Graph of Loading Test (L-2).....	8
Figure - 3.4	Settlement Graph of Loading Test (L-3).....	9
Figure - 3.5	Settlement Graph of Loading Test (L-4).....	9
Figure - 3.6	Settlement Graph of Loading Test (L-5).....	10
Figure - 3.7	Settlement Graph of Loading Test (L-6).....	10

PHOTO

Photo - 2.1	Measurement Condition of Settlement of Railway Truck	3
Photo - 2.2	Measurement Condition of Settlement of Loading Test.....	4

**REPORT
ON
MEASUREMENT FOR SETTLEMENT OF D-BOX
AT CHAUNG PHYAR AND DAUNGGYI STATION
EINME TOWNSHIP**

1 INTRODUCTION

METRY TECHNICAL INSTITUTE CO., LTD. assigned Fukken Co., Ltd. to carry out measurement survey for settlement of D-box near chaung phyar station, Einme Township, Ayeyarwaddy Region. One survey team has conduct leveling survey for improved railway truck by D-box and loading test by D-box associate with Auto Level.

1.1 Objective of Survey

The measurement of settlement was conducted for railway truck between CH 210 and CH 580 at Chaung Phyar and loading test by D-box at Daunggyi Station. The purpose of this work is to understand an improved effect by D-box and settlement condition.

1.2 Scope of Work

The scope of work is as follows;

- Measurement for settlement of improved railway truck: 14 times
- Measurement for settlement of loading test: 14 times
- Measurement period is between May 2017 and May 2018 (1 time per month)

1.3 Project Location

Project area is located at Chaungphyar and Daunggyi Rail-way Station on Pathein-Einme Rail-Way, Einme Township, Ayeyarwaddy Region. The detailed location of project area is indicated as a google map in Figure-1.1.



Figure - 1.1 Google Map of Project Area

1.4 Equipment Applied in the Project

The survey equipment is shown in Table-1.1.

Table - 1.1 Specification of Survey Equipment

Name	Type	Spec	Set
Auto Level	SOKKIA SDL30 (Digital Level)	Up to 0.6mm	1 set

1.5 Survey Team

The following persons are participated in this project.

Table - 1.2 Member List of Survey Team

Sr.	Name	Position
1	U Soe Moe Kyaw	Site Engineer
2	U Soe Lwin	Chief Surveyor
3	U Kyaw Zin Htun	Senior Surveyor

2 MEASUREMENT

(1) Settlement of improved railway truck by D-box

Measurement of settlement was carried out by using Auto Level. Basically, this measurement was conducted at CH 20 interval between CH 210 and CH 580.



Photo - 2.1 Measurement Condition of Settlement of Railway Truck

(2) Loading test by D-box

Measurement was carried out for six (6) kinds of loading condition. Table-2.1 shows each loading condition. These loading condition are same as Plater Loading Test in other work. Measurement points are each four (4) corner of loading plate.

Table - 2.1 Loading Condition

CASE	①Foundation	②D-Box for Load(LS-150)	Remarks
CASE-1	Direct Loading	LS150 × 3 (Sand inside)	
CASE-2	D-Box LS100 × 4 (Sand inside)	LS150 × 3 (Sand inside)	
CASE-3	D-Box LS100 × 4 (Sand inside)	LS150 × 5~10 (Sand inside)	Number of Load will be decided after the soil exploration
CASE-4	D-Box LS100 × 4(Soil come from the site inside)	LS150 × 5~10 (Sand inside)	Number of Load will be decided after the soil exploration
CASE-5	D-Box LS100 × 4 (Sand inside, Presses down and embedded at least 100mm)	LS150 × 5~10 (Sand inside)	Number of Load will be decided after the soil exploration
CASE-6	D-Box LS100 × 4(Soil come from the site inside, Presses down and embedded at least 100mm)	LS150 × 5~10 (Sand inside)	Number of Load will be decided after the soil exploration

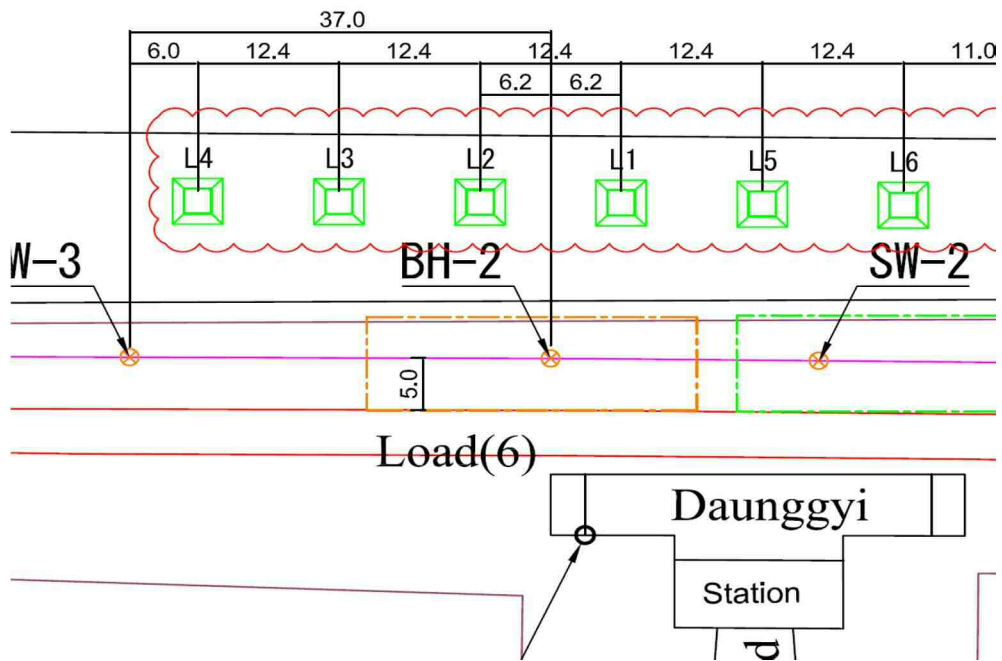


Figure - 2.1 Location of Loading Point



Figure - 2.2 Measurement Point of Settlement



Photo - 2.2 Measurement Condition of Settlement of Loading Test

3 MEASUREMENT RESULT

Measurement results are shown in Table-3.1 and Table-3.2. Moreover, graphs of settlement for each results are indicated in Figure-3.1 to Figure-3.7.

Table - 3.1 Measurement Results of Railway Truck

CH	Design EL R(m)	2017/47	2017/4/19	2017/5/1	2017/6/1	2017/7/1	2017/7/11	2017/8/1	2017/8/1	2017/10/1	2017/11/1	2017/12/1	2018/1/1	2018/1/17	2018/2/5	2018/3/5	2018/4/2	2018/5/2		
200	9.360																			
210	9.260	9.511		9.483	9.508	9.515	9.509	9.511	9.511	9.522	9.529	9.578	9.530	9.531	9.482	9.448	9.447	9.396		
215	9.220	9.493		9.495	9.500	9.507		9.501	9.502											
220	9.486	9.488	9.483	9.487	9.486	9.495	9.490	9.486	9.494	9.497	9.503	9.557	9.515	9.517	9.480	9.455	9.468	9.431		
240	9.430	9.428	9.424	9.423	9.423	9.440	9.432	9.431	9.445	9.444	9.449	9.503	9.461	9.465	9.432	9.414	9.426	9.416		
260	9.507	9.503	9.490	9.487	9.489	9.524	9.515	9.511	9.528	9.523	9.527	9.583	9.542	9.547	9.513	9.497	9.502	9.501		
280	9.644	9.643	9.629	9.628	9.631	9.649	9.639	9.635	9.654	9.644	9.650	9.705	9.671	9.671	9.636	9.624	9.631	9.629		
300	9.780	9.775	9.772	9.772	9.770	9.786	9.778	9.773	9.787	9.784	9.787	9.844	9.809	9.811	9.776	9.764	9.768	9.768		
320	9.917	9.915	9.910	9.907	9.910	9.913	9.909	9.901	9.912	9.914	9.917	9.974	9.937	9.937	9.902	9.892	9.891	9.891		
340	10.054	10.050	10.038	10.036	10.039	10.050	10.047	10.040	10.056	10.049	10.049	10.196	10.073	10.071	10.036	10.025	10.031	10.036		
360	10.191	10.186	10.157	10.158	10.161	10.191	10.186	10.199	10.191	10.187	10.189	10.245	10.212	10.212	10.178	10.168	10.167	10.164		
380	10.326	10.324	10.290	10.288	10.287	10.318	10.310	10.324	10.318	10.314	10.320	10.372	10.340	10.340	10.306	10.300	10.296	10.294		
400	10.464	10.461	10.429	10.428	10.430	10.444	10.435	10.429	10.440	10.431	10.431	10.487	10.453	10.454	10.416	10.405	10.404	10.401		
420	10.601	10.598	10.574	10.571	10.570	10.562	10.558	10.565	10.566	10.544	10.541	10.588	10.547	10.548	10.494	10.462	10.463	10.421		
440	10.703	10.706	10.702	10.702	10.702	10.703	10.700	10.713	10.702	10.700	10.702	10.757	10.729	10.730	10.697	10.694	10.694	10.691		
460	10.737	10.732	10.734	10.735	10.730	10.728	10.731	10.728	10.724	10.727	10.727	10.785	10.654	10.753	10.725	10.723	10.724	10.725		
480	10.717	10.712	10.704	10.705	10.708	10.709	10.714	10.713	10.710	10.710	10.716	10.770	10.634	10.731	10.702	10.699	10.698	10.696		
500	10.558	10.560	10.551	10.550	10.553	10.574	10.577	10.572	10.573	10.570	10.573	10.628	10.496	10.595	10.563	10.558	10.557	10.551		
520	10.346	10.342	10.319	10.316	10.320	10.351	10.355	10.347	10.346	10.350	10.346	10.403	10.271	10.373	10.341	10.335	10.339	10.331		
540	10.099	10.099	10.097	10.094	10.095	10.119	10.124	10.122	10.119	10.151	10.123	10.179	10.045	10.142	10.111	10.106	10.109	10.106		
560	9.967	9.962	9.968	9.959	9.960	9.969	9.976	9.977	9.971	10.003	9.972	10.030	9.897	9.994	9.962	9.957	9.961	9.958		
580	9.834	9.830	9.830	9.829	9.828	9.855	9.861	9.862	9.857	9.892	9.864	9.920	9.787	9.882	9.848	9.840	9.839	9.838		
590	9.770					9.878			9.881			9.941								
600																				

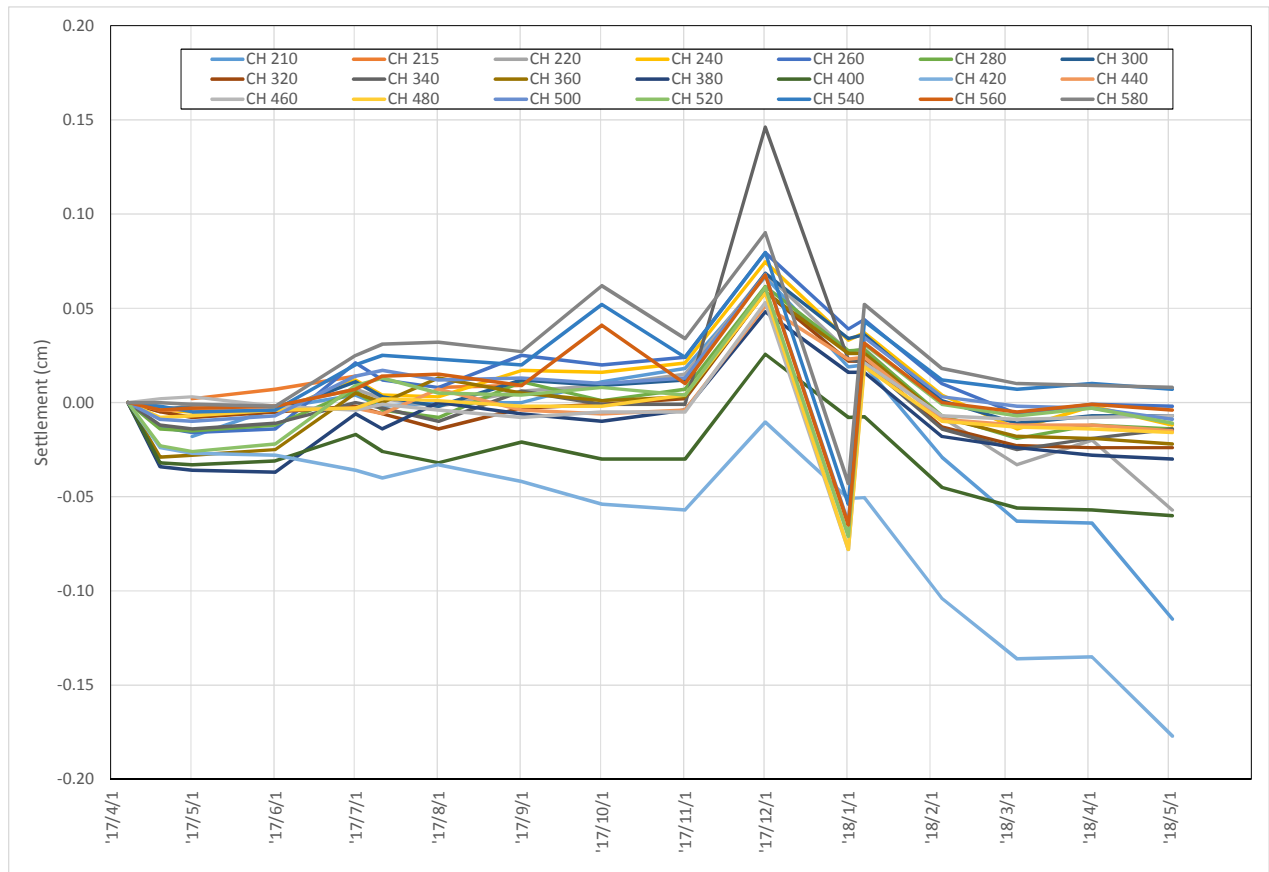


Figure - 3.1 Settlement Graph of Railway Truck

Table - 3.2 Measurement Results of Loading Test

Place	NO	2017/2/17	2017/2/18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
				2017/5/1	2017/6/1	2017/7/1	2017/8/1	2017/9/1	2017/10/1	2017/11/1	2017/12/1	2018/1/1	2018/1/7	2018/2/5	2018/3/5	2018/4/2	2018/5/2
L-1 Direct Loading	①	7.76	7.62	7.38	7.40	7.41	7.30	7.45	7.43	7.41	7.43	7.61	7.76	7.64	7.63	7.762	7.762
	②	7.75	7.38	7.29	7.31	7.34	7.20	7.32	7.33	7.29	7.30	7.56	7.53	7.58	7.59	7.58	7.759
	③	7.748	7.33	7.23	7.22	7.20	7.15	7.25	7.24	7.23	7.23	7.743	7.743	7.46	7.47	7.47	7.747
	④	7.713	7.04	7.693	7.690	7.693	7.690	7.695	7.693	7.693	7.693	7.691	7.746	7.713	7.719	7.719	7.719
L-2 Sand t=250mm	WL			no water	7.249	7.249	7.210	7.240	6.98	6.98	7.010	6.721	no water	no water	no water	no water	no water
	①	7.944	7.942	7.927	7.925	7.930	7.920	7.928	7.927	7.927	7.925	7.93	7.948	7.952	7.95	7.950	7.95
	②	7.938	7.933	7.918	7.915	7.921	7.910	7.914	7.912	7.912	7.911	7.918	7.936	7.933	7.943	7.941	7.942
	③	7.922	7.92	7.902	7.907	7.910	7.890	7.911	7.91	7.91	7.912	7.901	7.921	7.928	7.928	7.927	7.927
L-3 D-Box (Sand)	④	7.909	7.903	7.888	7.891	7.893	7.880	7.895	7.892	7.891	7.892	7.916	7.903	7.927	7.926	7.928	7.927
	WL			no water	7.257	7.257	7.220	7.262	7.235	7.234	7.023	6.721	no water	no water	no water	no water	no water
	①	7.958	7.96	7.937	7.935	7.938	7.935	7.933	7.932	7.931	7.930	7.921	7.958	7.962	7.958	7.959	7.956
	②	7.968	7.969	7.950	7.951	7.953	7.950	7.953	7.953	7.951	7.951	7.955	7.909	7.963	7.967	7.969	7.970
L-4 D-Box (Soil from site)	③	7.962	7.923	7.907	7.910	7.911	7.895	7.911	7.909	7.908	7.914	7.91	7.923	7.928	7.927	7.928	7.926
	④	7.948	7.947	7.936	7.935	7.939	7.930	7.940	7.939	7.939	7.938	7.923	7.948	7.955	7.952	7.950	7.952
	WL			no water	7.244	7.244	7.220	7.247	7.237	7.237	7.198	7.015	6.721	no water	no water	no water	no water
	①	8.062	8.063	7.874	8.042	8.046	8.010	8.041	8.041	8.039	8.039	8.045	8.051	8.055	8.061	8.055	8.053
L-5 D-Box (Sand+ Press 100mm)	②	8.015	8.015	7.991	7.990	7.992	7.970	7.989	7.988	7.985	7.991	7.986	7.986	7.996	7.991	7.990	7.990
	③	8.038	8.032	8.014	8.017	8.020	8.010	8.021	8.018	8.018	8.023	8.046	8.038	8.049	8.047	8.048	8.047
	④	8.012	8.008	7.993	7.998	8.002	7.975	7.998	7.996	7.995	8.000	8.006	7.998	8.002	8.003	8.003	8.002
	WL			no water	7.207	7.207	7.200	7.197	7.196	7.196	6.853	6.716	no water	no water	no water	no water	no water
L-6 D-Box (Soil from site+Press100mm)	①	7.881	7.881	7.863	7.860	7.865	7.855	7.863	7.862	7.861	7.865	7.866	7.873	7.88	7.879	7.879	7.879
	②	7.887	7.870	7.869	7.873	7.873	7.860	7.871	7.87	7.868	7.870	7.864	7.878	7.885	7.887	7.885	7.885
	③	7.871	7.850	7.852	7.855	7.850	7.850	7.851	7.85	7.85	7.853	7.853	7.868	7.877	7.877	7.876	7.876
	④	7.868	7.850	7.854	7.854	7.850	7.850	7.857	7.855	7.854	7.854	7.857	7.863	7.876	7.876	7.875	7.875
L-6 D-Box (Soil from site+Press100mm)	WL			no water	7.247	7.247	7.210	7.246	6.981	6.981	7.018	6.718	no water	no water	no water	no water	no water
	①	8.075	8.075	8.007	8.009	8.009	8.000	8.005	8.004	8.003	8.007	8.016	8.023	8.029	8.029	8.030	8.029
	②	8.04	8.04	8.020	8.024	8.025	8.006	8.029	8.028	7.998	8.023	8.008	8.028	8.034	8.034	8.035	8.034
	③	8.017	8.017	7.997	7.999	7.998	7.995	7.997	7.997	7.997	7.995	7.995	8.006	8.028	8.034	8.034	8.034
L-6 D-Box (Soil from site+Press100mm)	④	8.023	8.023	8.002	8.009	8.007	7.990	8.006	8.006	8.004	8.008	8.016	7.923	8.026	8.026	8.027	8.027
	WL			no water	7.247	7.247	7.210	7.242	6.981	6.981	7.197	6.988	6.714	no water	no water	no water	no water

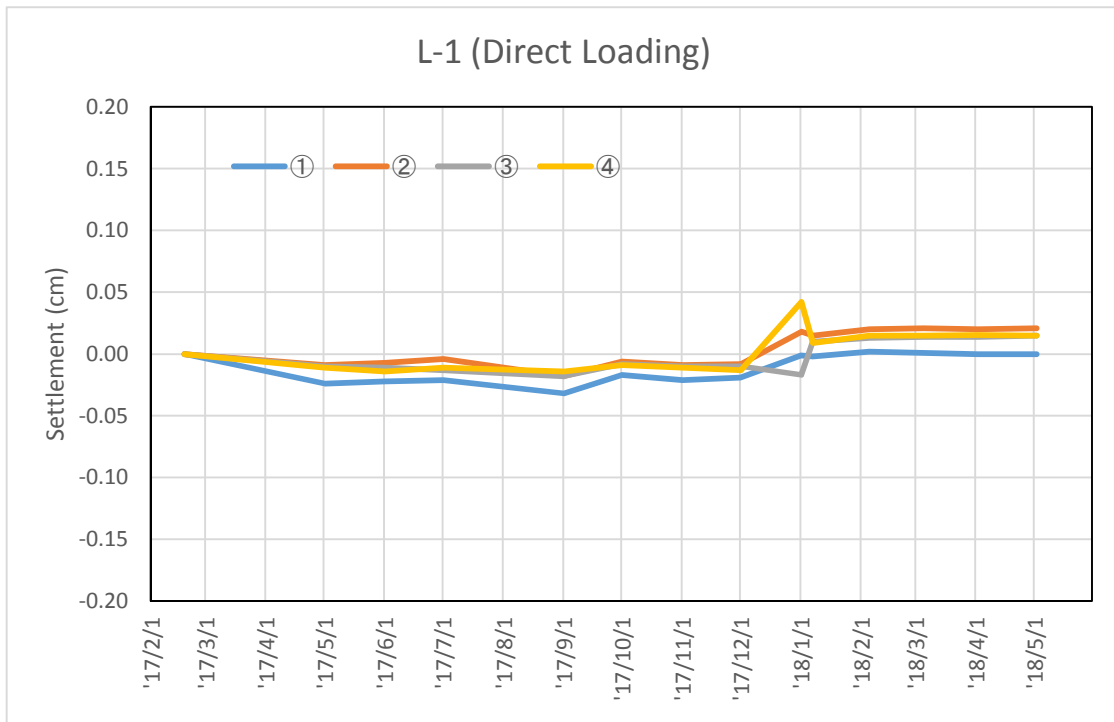


Figure - 3.2 Settlement Graph of Loading Test (L-1)

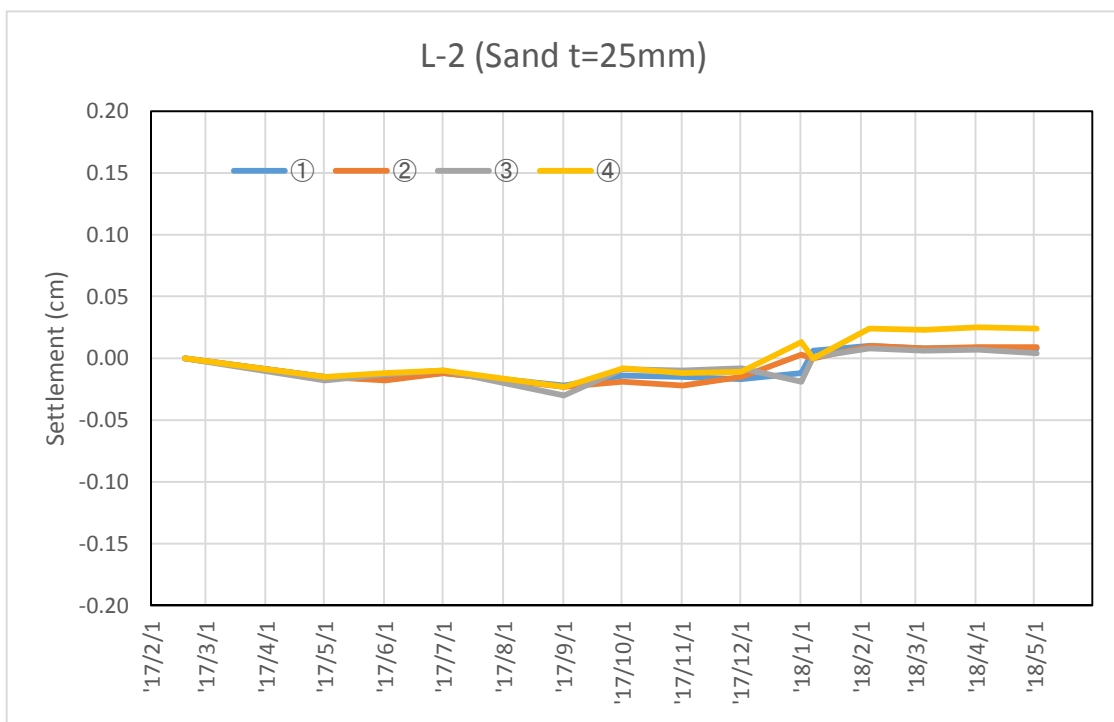


Figure - 3.3 Settlement Graph of Loading Test (L-2)

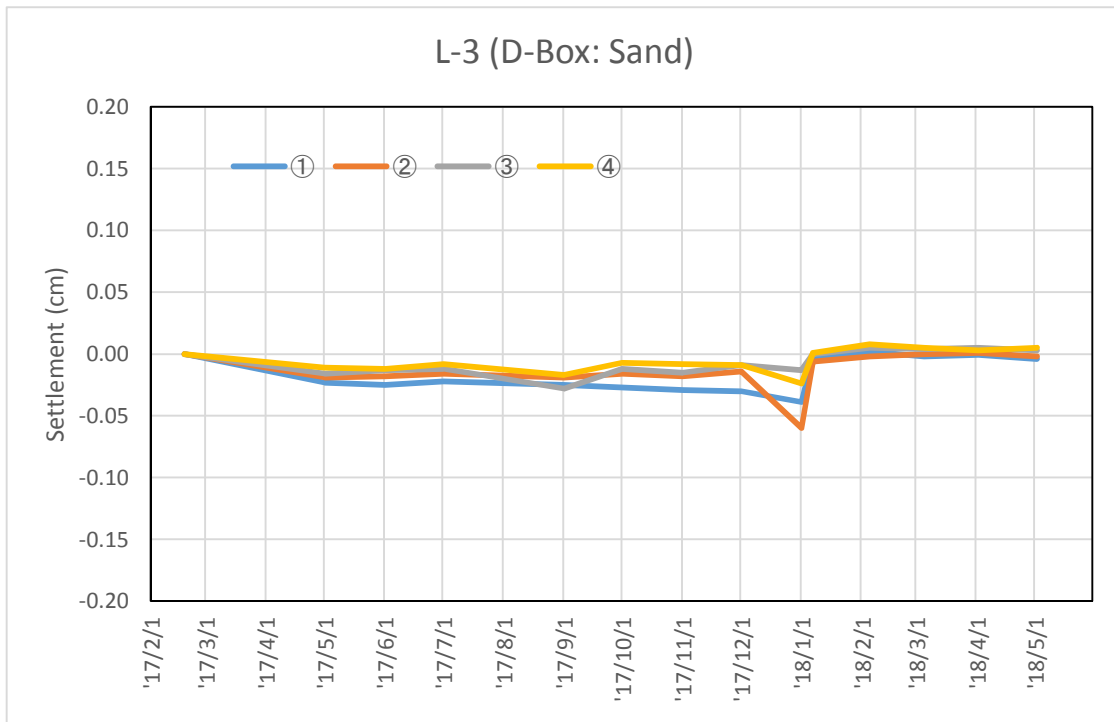


Figure - 3.4 Settlement Graph of Loading Test (L-3)

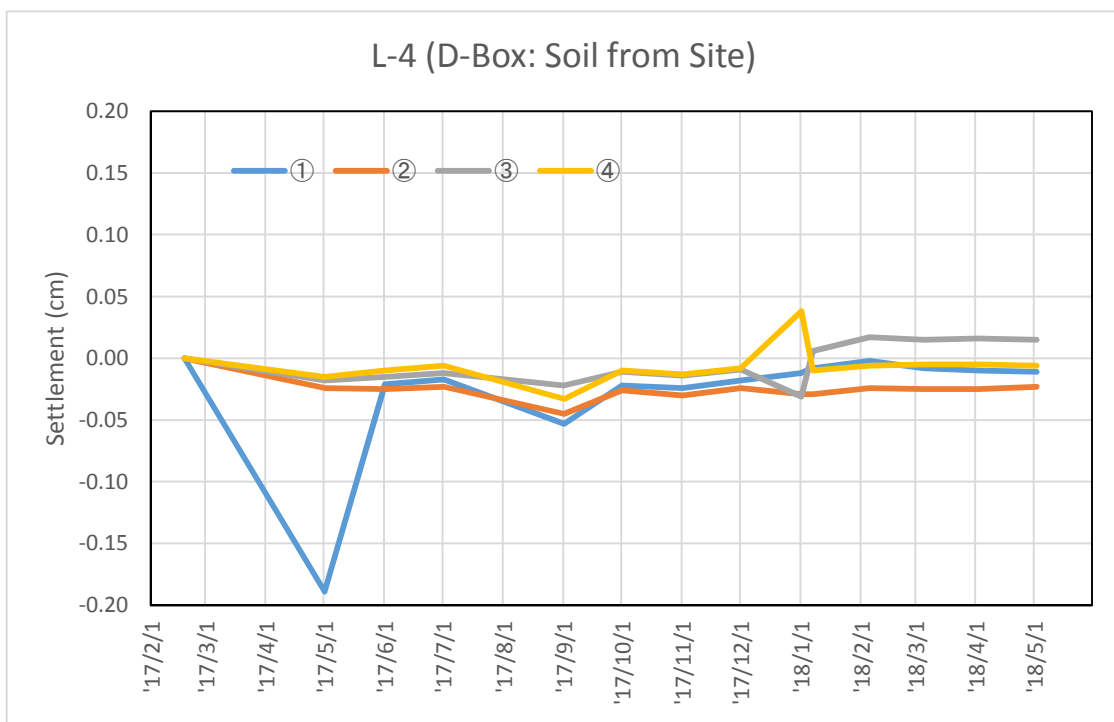


Figure - 3.5 Settlement Graph of Loading Test (L-4)

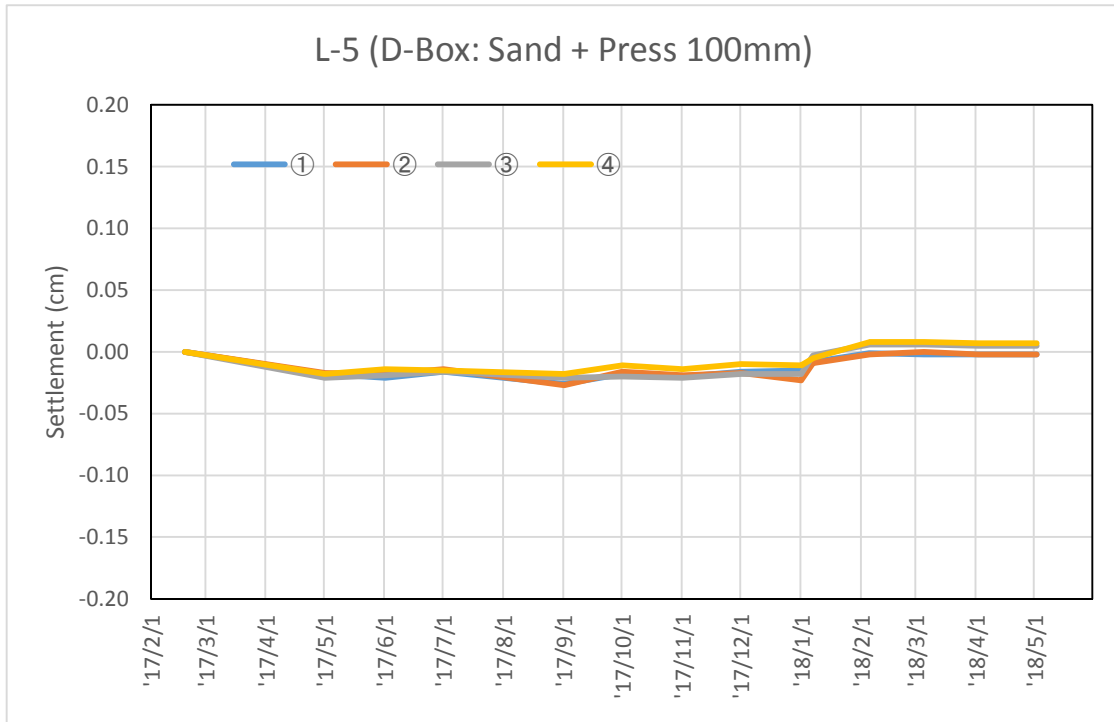


Figure - 3.6 Settlement Graph of Loading Test (L-5)

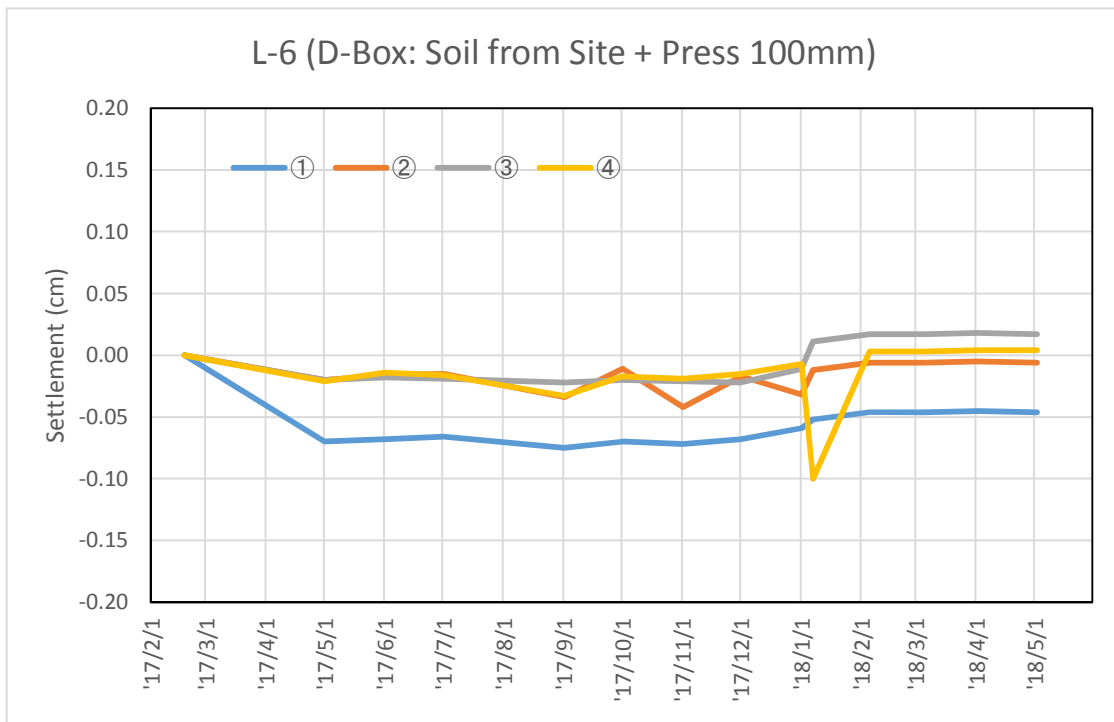


Figure - 3.7 Settlement Graph of Loading Test (L-6)

----- End of Document -----

Survey 9 October,2018 @5m PCKK

NO	CH	①EL 7/APR /2017(m)	②EL 9/10/2018	②-① (mm)	③Reading of Center @5m(mm)	④ Discrepanc y(③-20m m)	⑤Width(mm) 1000mm±10 mm	⑥Incline(mm) ±10mm (+は左側が高い)	Remarks
	205		9.463						
	210		9.467						人力施工4 m区間
	215		9.472						
1	220	9.488	9.469	-19			-1.5	9	
2	225		9.456		20	0	-1	9	
3	230		9.446		20	0	-1.5	6	
4	235		9.437		24	4	-1	1	
5	240	9.428	9.434	6	23	3	0	-2.5	
6	245		9.44		29	9	0	-1	
7	250		9.463		16	-4	-0.5	0	
8	255		9.479		26	6	0	7	
9	260	9.503	9.509	6	21.5	1.5	1	8	
10	265		9.543		18	-2	3	8	
11	270		9.572		20	0	0.5	8	
12	275		9.603		20	0	-1	3	
13	280	9.643	9.632	-11	17	-3	1	4	
14	285		9.657		27	7	-1	1	
15	290		9.702		19.5	-0.5	0	0	
16	295		9.734		22	2	-1	2	
17	300	9.775	9.777	2	14	-6	-1	0	
18	305		9.807		22	2	0	3	
19	310		9.844		17	-3	1	5	
20	315		9.872		16.5	-3.5	-2	3.5	
21	320	9.915	9.894	-21	26	6	1.5	3	
22	325		9.928		20	0	2.5	2	
23	330		9.965		22	2	2	0	
24	335		10.005		26	6	2	0	
25	340	10.005	10.037	32	18	-2	2	11	
26	345		10.065		25	5	-1	10	
27	350		10.101		22	2	2.5	5	
28	355		10.144		13	-7	2	11	
29	360	10.186	10.172	-14	16.5	-3.5	1	14	
30	365		10.193		30	10	-1	13	
31	370		10.234		16	-4	-2	15	
32	375		10.268		21	1	0.5	14	
33	380	10.324	10.302	-22	18.5	-1.5	1	8	
34	385		10.333		13	-7	0.5	4	
35	390		10.347		25	5	-0.5	-2	
36	395		10.371		23.5	3.5	1.5	-4	
37	400	10.461	10.401	-60	19	-1	1	-6	
38	405		10.429		19.5	-0.5	1	-6	
39	410		10.455		29	9	-1	5	
40	415		10.495		18	-2	-2	3	
41	420	10.598	10.531	-67	16	-4	-2	2	2018年5月は、17cm の沈下
42	425		10.556		26	6	-1	0	
43	430		10.596		19	-1	1.5	-1	
44	435		10.631		32.5	12.5	0	-4	
45	440	10.706	10.694	-12	20mm以上	±20mm以上	1	4	橋梁との取付け部
46	445		10.707		12	-8	0.5	3	
47	450		10.707		22	2	2.5	3	
48	455		10.711		24	4	0.5	2	
49	460	10.732	10.724	-8	18	-2	2.5	0	
50	465		10.733		12	-8	3	5	
51	470		10.725		21	1	3	4	
52	475		10.721		5	-15	1	9	
53	480	10.712	10.685	-27	20	0	0.5	8	
54	485		10.654		23	3	1	8	
55	490		10.622		17.5	-2.5	2	9	
56	495		10.589		17	-3	0	10	
57	500	10.560	10.551	-9	13	-7	1	4	
58	505		10.497		20	0	0	8	
59	510		10.442		16	-4	1	6	
60	515		10.381		30	10	0	6	
61	520	10.342	10.338	-4	16	-4	0.5	7	
62	525		10.287		15.6	-4.4	-1	14	
63	530		10.227		22	2	0	15	
64	535		10.172		24	4	2	6	
65	540	10.099	10.126	27	21	1	1.5	6	
66	545		10.087		27	7	0	-1	
67	550		10.052		10	-10	0	2	
68	555		10.004		25	5	-0.5	1.5	
69	560	9.962	9.966	4	21	1	-2.5	4	
70	565		9.931		27	7	1.5	3	
71	570		9.908		19	-1	0	0	
72	575		9.881		18	-2	1.5	-4	
73	580	9.830	9.852	22	30	10	0	0	
	585		9.841						
	590		9.856						

Myanma Railways

Summary Report

The Republic of the Union of Myanmar

Verification Survey with the Private Sector
for Disseminating Japanese Technologies

for

Box Shaped Soil Bag with Internal Binding
System in Railway

October, 2018

Japan International Cooperation Agency

Metry Technical Institute Co., Ltd.

1. BACKGROUND

In Myanmar, development of transportation networks is a pressing issue as a part of infrastructure development for economic growth. Development plans of the transportation networks have been push forward at a rapid pace. In contrast, most ground in Myanmar is consisted of soft ground. Particularly in delta area centering Ayeyarwaddy region, there are much slope failure and subsidence caused by shortage of bearing capacity; repairs to such phenomena are required. In Japan, replacement method using good quality soil, vertical drain method, and cement mixing treatment are prevailing technologies for soft ground reinforcement. However, those methods are not disseminated in Myanmar due to 1) economic reasons such as procurement of heavy equipment, and 2) technical reasons such as acquisition of special skills and requirements of work platform for heavy machineries. Thus, it is essential to have ground improvement methods which are applicable for the situation in Myanmar.

Under these circumstances, installation of the soft ground improvement technology is required; such technology should be sustainable, reasonable and easy. Moreover, in terms of technical progress in countermeasures against the soft ground in Myanmar, it is required to conduct technology transfer through implementation of the infrastructure development.

2. OUTLINE OF THE PILOT SURVEY FOR DISSEMINATING SME'S TECHNOLOGIES

(1) Purpose

The Survey aims to prove the effect of the countermeasures against subsidence, mud-pumping, and vibration with the soil-stabilization construction method using Box Shaped Soil Bag with Internal Binding System ("D • Box") for the railroad foundation on the soft ground area in Ayeyarwaddy region. Furthermore, a technology transfer model for local engineers will be verified through compiling design manual and construction manual considering local adoptability on D • Box while implementing the Survey.

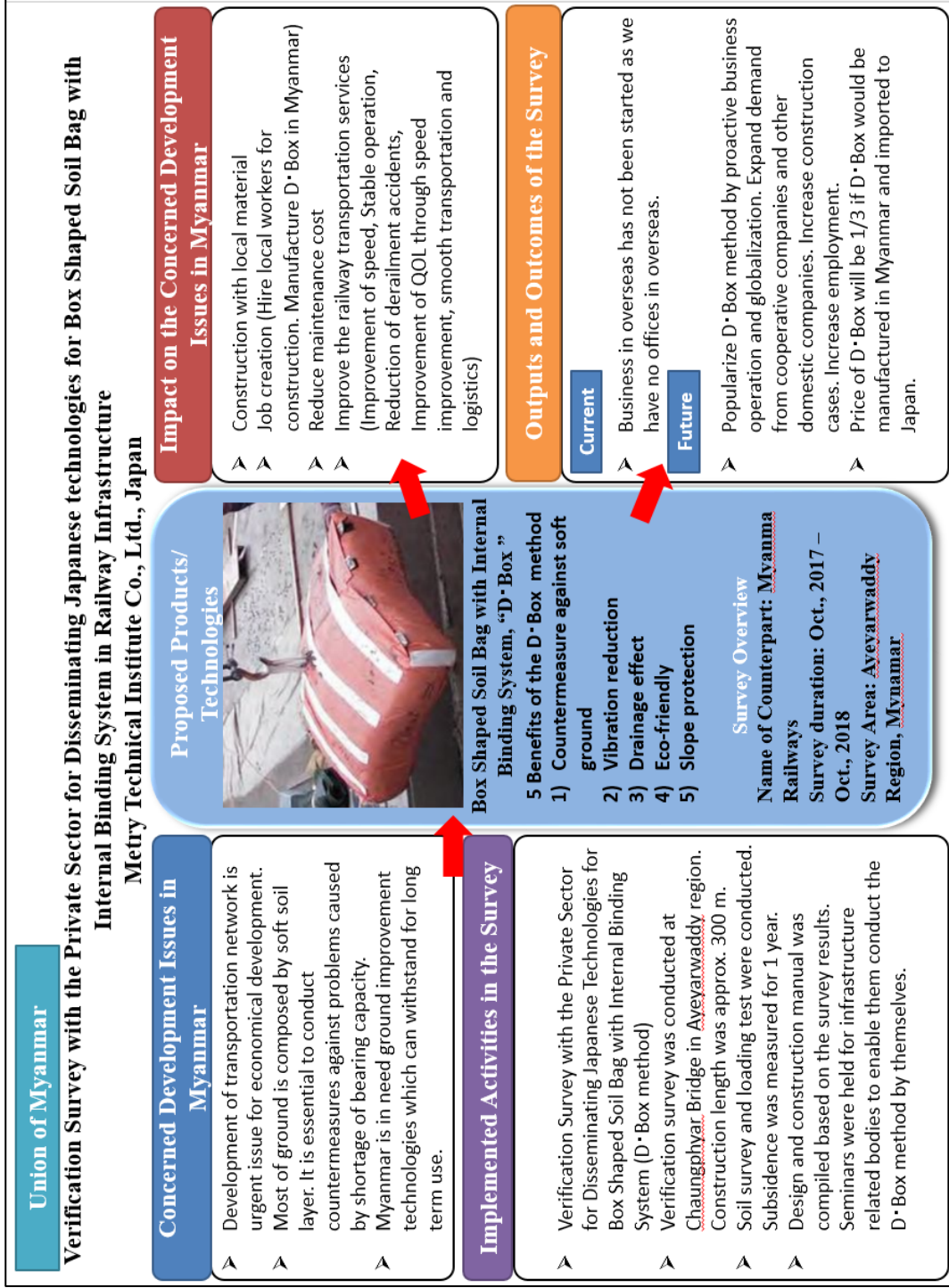
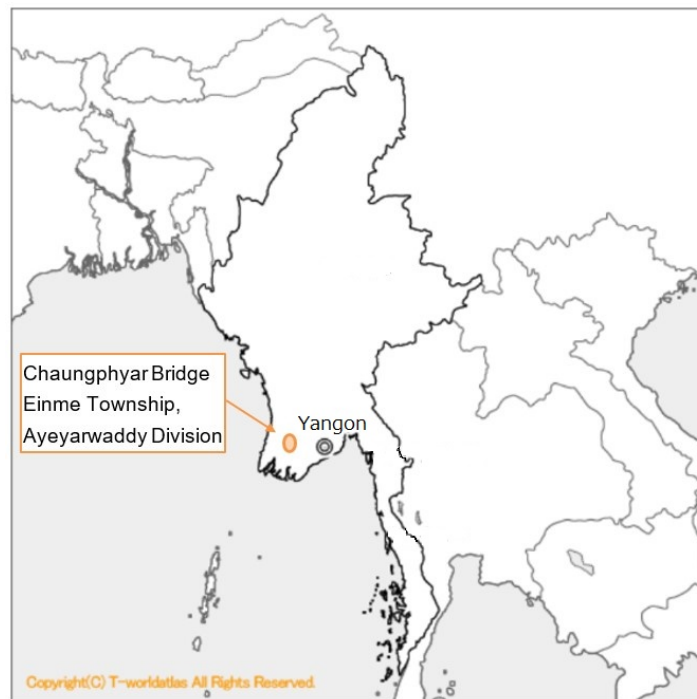


Figure-1: Verification Survey of the Demonstration Construction

(2) Activities

The demonstration construction was conducted at the railway foundations at Chaungphyar Bridge near Einme Township in Ayeyarwaddy region, as shown in Figure-2. The construction was conducted at both sides of the bridge; total construction length was 360 m. In starting the construction, technical guidance was conducted by a Japanese specialist of the track maintenance. The guidance was to coach the MR engineers for the railway track construction, track adjustment, and railway maintenance. In the construction, D • Box was installed directly under rail track. Particularly, D • Box installation by manpower, directly under the rail track, was conducted as a ground reinforcement method which enables prompt repair without waiting for the heavy equipment in emergency. In addition, retaining walls were constructed to protect slopes in the construction section. Moreover, D • Box dam was constructed at ends of the slopes to avoid the slope failure during the rainy season; D • Box made in Myanmar was used for D • Box dam. Topographical survey and soil survey were conducted previously to the construction. Periodical observations on the vibration and the subsidence were conducted for a year after the construction; the observation enabled obtaining of sufficient records for engineering verifications of D • Box. The observation was conducted for a year, until May, 2018, to record results of loading tests and the subsidence at the railway track.



Map provided by: <http://www.sekaichizu.jp>

Figure-2: Location of the Demonstration Construction

In the dissemination activities, D • Box Design and Construction Manual was compiled based on the demonstration construction to utilize the results of this project for future development. The manual contains construction methods including D • Box installation. The manual was used as a dissemination tool to enable engineers of Myanmar Railways (“MR”) to conduct countermeasures against the soft ground using D • Box; the manual was used at seminars as well. Additionally, a video was produced in Burmese to introduce D • Box. Such introduction video, pictures and videos recorded during the construction were used at the seminars. The seminars were held at MR and Myanmar Engineering Society (“MES”) twice, in September, 2017 and May, 2018. The seminars were conducted to promote understanding of D • Box; targets of the seminars were infrastructure related authorities, construction related enterprises, and civil engineers. A draft of D • Box Design and Construction Manual was compiled in May, 2018; ten copies of the manual written in Burmese were submitted to MR.

(3) Information of Product/ Technology to be Provided

- 1) Product Name: Box Shaped Soil Bag with Internal Binding System, “D • Box”
- 2) Specification (Specification for Japan):

Product Name	D • Box LS100	D • Box LS150
Size (mm)	W1,000× D1,000×H250	W1,500×D1,500×H450
Volume of Filling Materials	0.25 m ³	1.0 m ³
Material	Polypropylene (UV stabilized PP)	
Filling Materials	Gravel (≤ 40 mm), Sand, etc.	
Physical Property (per 5 cm)	Vertical	Horizontal
(1) Tension Force (N)	1,869	1,858
(2) Elasticity (%)	18	18

3) Characteristics:

D • Box is the box shaped soil bag with internal binding system; it is made of permeable textile. D • Box method is the ground reinforcement method using D • Box filled with gravel and/or sand. Fabricated (filled) D • Box are installed into surface layer of super soft ground. D • Box method is effective against consolidation subsidence, the slope failure at embankment, liquefaction, and other phenomena caused at the soft ground. D • Box method can be constructed without using the heavy equipment nor special machineries. Moreover, D • Box can be installed even

only by manpower. D • Box method has advantages in 1) constructions on the super soft ground with negative construction conditions where is difficult to build access roads for the heavy equipment for the ground improvement, 2) constructions on the ground with inadequate drainage capacity, and 3) constructions in the area where requires the environmental consideration such as restraint of using cement and/or lime.

Construction methods using soil bags and geotextile sheets are similar to D • Box method. However, those methods require work platforms with sufficient bearing capacity and access roads to use the heavy equipment. Thus, there is no other methods than D • Box that can be used singly for the constructions on the super soft ground.

(4) Counterpart Organization

Official Name: Myanma Railways, Ministry of Transportation and Communication, Myanmar

(5) Target Area and Beneficiaries

Target Area: Chaung Phyar Village, between Einme – Daung Gyi Station, Einme Township, Ayeyarwaddy Division

Beneficiaries: Railway passengers, Local residents (Employment promotion), and Logistics industry

(6) Duration

October, 2016– October, 2018

(7) Progress Schedule

Table-1: Progress Schedule -I

Item	2016			2017												2018											
	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Activity 1: Demonstrative Construction with the Box Shaped Soil Bag with Internal Binding System (D-Box)																											
(1)	Study on the Construction Plan; Procurement, Manufacturing and Transportation of the Construction Materials																										
(2)	Measuring Survey (Horizontal Survey)																										
(3)	Geological Survey, and Tests for the Bearing Capacity																										
(4)	D-Box Installation in the Railway Foundation and for the Loading Tests																										
(5)	Construction with Technical Transfer to Rail Track Maintenance Engineers and Civil Engineers of MR																										
(6)	The Observation on the Vibration during Train Operation using a Rail Gang Car																										
(7)	Status of the Mud Pumping in the Rainy Season after D-Box Installation																										
(8)	Ultra Violet Resistance Test (Deterioration Test with UV in Myanmar)																										
(9)	Subsidence Analysis and Calculation of the Bearing Capacity																										
(10)	The Loading Test and Subsidence Observation for a Year																										
(11)	The Observation on the Subsidence of the Railway Track for a Year																										

..... Work in Japan (Plan) ————— Work in Japan (Actual)
..... Work in Myanmar (Plan) ————— Work in Myanmar (Actual)

Source: Compiled by the Survey Team

Table-1: Progress Schedule -2

Item	2016												2017												2018																																																											
	11						12						1						2						3						4						5						6						7						8						9						10						11						12					
	Activity 2: Verification of a Technology Transfer Model for D-Box Method																																																																																			
(1)	Development of the Brief Construction Manual for D-Box Method																																																																																			
(2)	On-Site Technology Transfer for the Civil Engineers and Rail Track Maintenance Engineers of MR using the Brief Construction Manual												-----												-----																																																											
(3)	Development of Product Management Guideline												-----												-----																																																											
(4)	Development of D-Box Design and Construction Manual												-----												-----																																																											
(5)	Organizing the Seminars using the D-Box Design and Construction Manual for MR officers and general engineers												-----												-----																																																											
(6)	Knowledge Co-Creation Program (2 persons for one week)												-----												-----																																																											
Activity 3: Study toward Future Dissemination																																																																																				
(1)	Promotional activities for the infrastructure related authorities and MES												-----												-----																																																											
(2)	Study on a Local Supply Chain of the Construction Materials, Research for the Feasible Business Partners, and Study on Preferable Business												-----												-----																																																											
(3)	The Survey on Laws and Regulations for developments into Myanmar												-----												-----																																																											

----- Work in Japan (Plan) ----- Work in Japan (Actual)
 ----- Work in Myanmar (Plan) ----- Work in Myanmar (Actual)

Source: Compiled by the Survey Team

(8) Manning Schedule

Table-2 shows plan of the manning schedule.

Table-2: Manning Schedule (Plan)

Ref. No.	Name	Assignment	Company	No. of travel	No. of Working Days	
					in Myanmar	in Japan
1	Mr. Futoshi Nomoto	Project manager/ Study on the demonstration construction/ Installation work-1/ Efficiency measurement-1 (Vibration Observation)/ Report (compiling and supervising)	Metry	8	94	51
2	Mr. Tsuyoshi Hanaya	Deputy project manager/ Installation work-2/ Supervisor of the manual/ Report (compiling)	Metry	1	21	37
3	Mr. Toshihiro Osato	Installation work-3/ Workability survey-2	Metry	1	21	0
4	Mrs. Kazuko Kitakaku	Preparation of documents/ Financial management	Metry	0	0	40
5	Dr. Hiroshi Shimada	Chief adviser and deputy project manager/ Planning of the demonstration construction/ Bid and order/ Seminar/ Site management/ Development of sales channels/ Future development/ Analysis of the construction industry-1/ Report (compiling)	PCKK	7	63	37
6	Mr. Minoru Kitaura	Railway design/ Site management (railway construction)/ Analysis of efficiency/ Report (compiling)	PCKK	3	21	22
7	Dr. Hirokazu Kadota	Planning of the soil survey/ Management of the soil survey/ Geological analysis/ Result verification/ Manual (compiling design section) / Seminar (Design section of the manual) / Report (compiling)	PCKK	1	7	37

8	Mr. Itsuro Tatekawa	Planning of the soil survey/ Management of the soil survey/ Geological analysis, Result verification/ Manual (compiling design section) / Seminar (Design section of the manual) / Report (compiling)	PCKK	3	21	43
9	Mr. Wataru Munekata	Brief manual/ Retaining wall (supervisor)/ Workability survey-1/ Comparison of construction cost with other construction methods/ Manual (compiling construction section)/ Report (compiling)	PCKK	2	21	32
10	Ms. Yuko Matsuda	Compiling bidding documents/ Study on risks and countermeasures/ Development of sales channels/ Future development/ Analysis of the construction industry-2/ Dissemination of the manual	PCKK	5	42	11
11	Mr. Ryuji Seino	Site management (railway construction)	NSG	0	0	0

Metry: Metry Technical Institute Co., Ltd.

PCKK: Pacific Consultants Co., Ltd.

NSG: Japan Railway Track Technology Consultants Co., Ltd.

Source: Compiled by the Survey Team

(9) Implementation System

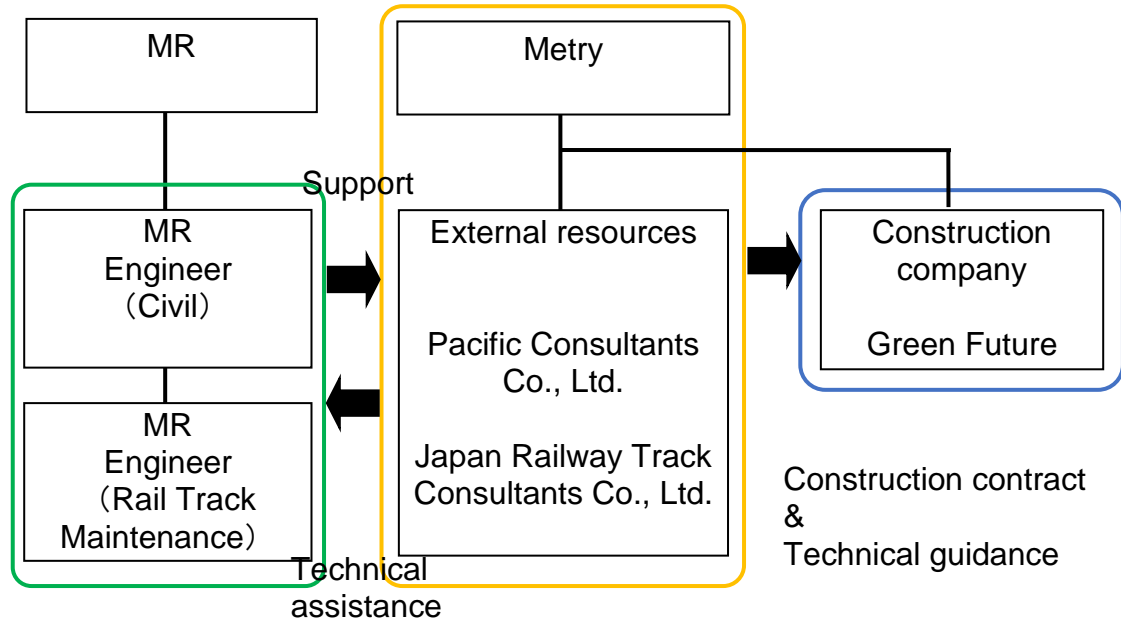


Figure-3: Implementation System

Source: Compiled by the Survey Team

3. ACHIEVEMENT OF THE SURVEY

(1) Outputs and Outcomes of the Survey

1) Effectiveness of the ground improvement at the railway track

Effectiveness of the D • Box in both the dry and the rainy seasons were verified through the demonstration construction in Einme. Verified effectiveness of the D • Box were 1) the countermeasure against the mud pumping, 2) the countermeasure against the subsidence at the railway track, 3) vibration reduction, 4) productivity of the construction, and 5) ease of maintenance. In addition, D • Box Design and Construction Manual was compiled; and merits of D • Box method were presented at the seminars at MR and MES.

Specifically, subsidence volume at the railway track was reduced to a few centimeter after D • Box installation. Appropriate maintenance will reduce derailments and enable speeding up of railway; currently, Myanmar has over 1,000 times of the derailments in a year. That is to say D • Box has much potential to contribute to the economic activities in Myanmar. Moreover, D • Box installation by human power was conducted as the countermeasure in emergency or with

limited budget. D • Box made in Myanmar was used for the ground reinforcement at the railway track; the filling material was original soil at the construction site. The construction productivity was 4 m/ day with only 12 workers. This experiment verified that D • Box installation into the railway track, 2 bags of D • Box per 1 m, enabled the ground reinforcement and the countermeasure against the mud pumping. Therefore, using Myanmar D • Box for future maintenance of the railway track has merits in both economic and the construction productivity.

Table-3 Contents and Achievements of the Survey

Activity-1: Verification of D-Box	
(1)	Study on the Construction Plan; Procurement, Manufacturing and Transportation of the Construction Materials
	For design specifications; the construction plan, design drawings, quantities, and calculation of estimated construction expense were developed. The contractor was selected by a bidding among three construction companies which had experiences of the railway construction. Procurement of the construction materials and manufacturing of D • Box in Myanmar, 460 bags in total, were conducted.
(2)	Measuring Survey (Horizontal Survey)
	The horizontal survey for the construction section was conducted. The survey was completed in November, 2017. The result was used for the design drawings.
(3)	Geological Survey, Calculation Formula for the Bearing Capacity of the Soil
	The soil conditions of the soft ground at the site was surveyed; and essential geological tests were conducted to lead the bearing capacity and for the subsidence analysis. Based on the results of the tests and FEM analysis, a calculation formula was formulated for the calculation of the bearing capacity of the soft ground using D • Box. Such formula will be used for the future development after obtaining certification and recommendation from related organizations.
(4)	D • Box Installation in the Railway Foundation and conducting the Loading Tests
	D • Box was installed in the railway foundation based on the technical guidance by Japanese engineers. The construction length was 360 m; and the construction was conducted from late January to early April, 2017. In addition, D • Box was installed by manpower for 4 m. The construction was

	<p>completed within the planned period. Moreover, D • Box was installed for the loading test in middle February, 2017; the subsidence observation had conducted for a year. For details, please refer to Image-4, 5, 9, 10 in the Reference.</p>
(5)	<p>Construction with Technical Transfer to Rail Track Maintenance Engineers and Civil Engineers of MR</p> <p>The technical guidance was conducted by a specialist of the track maintenance in February, 2017; the specialist was from NSG. The guidance was to coach the MR engineers for the railway track construction, track adjustment, and railway maintenance. The track adjusted by the MR engineers met with a tolerance at an inspection for the hand-over; the inspection was conducted in April, 2017. In addition, the maintenance method was guided to MR.</p>
(6)	<p>The Observation on the Vibration during Train Operation Using a Rail Gang Car</p> <p>The vibration during the train operation was observed once before D • Box installation and four times after D • Box installation; the Rail Gang Car was operated for the vibration tests. The vibration at a sensitive range, 1~12.5 Hz, was reduced by 5~10 dB according to a comparative study of the vibration between before and after D • Box installation. On the contrary, the vibration at a range over 20 Hz had tendency to increase. Since the Rail Gang Car was not available for further vibration tests, reasons of such result were not resolved. For details, please refer to Image-7 in the Reference.</p>
(7)	<p>Status of the Mud Pumping in the Rainy Season after D • Box Installation</p> <p>Visual inspections were conducted for four times after the completion of the construction, April, 2017. The inspection was conducted in July, August and September, 2017; and May, 2018. There were no mud pumping in spite of the rainy season. Thus, D • Box's effectiveness against the mud pumping was verified. For details, please refer to Image-6 in the Reference.</p>
(8)	<p>Ultra Violet Resistance Test (Deterioration Test with UV in Myanmar)</p> <p>Tension tests were conducted with D • Box exposed to the sun shine in Myanmar for a year; residual ratio of the strength was measured in the tests. As a result, D • Box had sufficient safety even though it was exposed to the ultra violet ray for a year.</p>
(9)	<p>Subsidence Analysis and Calculation of the Bearing Capacity</p> <p>Plate loading tests were conducted to compare difference between existence</p>

	and non-existence of D • Box. The result of the plate loading tests was used for FEM analysis; and the calculation formula of the bearing capacity was led by the analysis. Finally, the calculation formula of the bearing capacity, Dr. Kadota's Formula, was formulated. For details, please refer to Image-2 in the Reference.
(10)	The Loading Test and Subsidence Observation for a Year The loading test was conducted at Daunggyi Station to verify effectiveness of D • Box in reduction of the consolidation; the test was planned to compare difference between existence and non-existence of D • Box. Although the construction was planned to be conducted in the rainy season, that was actually conducted in the dry season due to delay in the construction schedule. The effectiveness of D • Box in the reduction of the consolidation was not identified in the dried foundation. For details, please refer to Image-5 in the Reference.
(11)	The Observation on the Subsidence of the Railway Track for a Year Height of the railway track at Chaungphyar Bridge has been surveyed for a year; the measurement span was 20 m. This survey was conducted to verify effectiveness of D • Box in subsidence control. The subsidence volume in the constructed section was controlled within 3 cm excepting some parts; such parts were a part of joint sections with the bridge, and a joint section with existing railway track. Consequently, the effectiveness of D • Box in the subsidence control for the railway track was verified. The subsidence caused to existing holes or collapse phenomenon ^{*-1} are presumed as reasons of uncontrolled subsidence caused to the joint section with the bridge. For details, please refer to Image-4 in the Reference.
Activity 2: Verification of the effectiveness of the Technology Transfer Model and activity of D • Box	
(1)	Development of the Brief Construction Manual for D • Box Method The brief construction manual was compiled and translated in Burmese and English; contents of the manual were fabrication and installation methods. The manual was used for on-site guidance with practices. The productivity of the fabrication work was remarkably smooth, 120 bags/day. Such productivity indicated that the construction technology was sufficiently transferred.
(2)	On-Site Technology Transfer for the Civil Engineers and Rail Track Maintenance Engineers of MR Using the Brief Construction Manual

	The brief construction manual, written in Burmese and English, was used for the on-site guidance with the practices. The technical guidance by the specialist enabled railway installation to meet with the tolerance.
(3)	Development of Product Management Guideline
	The product management guideline was compiled to show maintenance methods for the constructed section; and the guideline was translated into Burmese. The guideline was handed to MR at the hand-over. Periodical maintenance has been conducted. The railway track at the site was in good condition in May, 2018, one year after the completion of the construction. The conditions indicated that there were no problems of the maintenance.
(4)	Development of D • Box Design and Construction Manual
	D • Box Design and Construction Manual was compiled based on the demonstration construction at Chaungphyar Bridge. The manual contains design methods for the ground reinforcement using D • Box for railway foundation on the soft ground, and construction methods including D • Box installation. The manual was written in Japanese, Burmese, and English. Five copies of English version and ten copies of Burmese version were submitted to MR in May, 2018.
(5)	Organizing the Seminars using the D • Box Design and Construction Manual for MR officers and general engineers
	The seminars using the manual were held twice, in September, 2017 and May, 2018. The seminars were held at MR for MR engineers, and MES for civil engineers and construction related persons. Questionnaire survey was conducted to identify effectiveness of the technical transfer through the seminars.
(6)	Knowledge Co-Creation Program (2 persons for one week)
	The knowledge co-creation program was conducted in middle June, 2018. For the program, two MR engineers were invited to Japan for a week. The engineers visited domestic sites constructed with D • Box and had classroom lectures about D • Box Design and Construction Manual. Questionnaire survey was conducted to identify effectiveness of the program; the answer showed that they understood D • Box's great adaptability to various types of the ground, and long range sustainability of the effectiveness.
Activity 3: Study for Future Development	
(1)	Promotional Activities for the Infrastructure Related Authorities and MES

	<p>The seminars were held at MES twice, in September, 2017 and May, 2018, based on D • Box Design and Construction Manual. The promotional activities were conducted to introduce the effectiveness of D • Box. Most of participants of the seminars were the civil engineers of the construction related enterprises. Both times, the seminars were successful with over 100 participants; and there were many detailed questions about usage of D • Box. This showed that D - Box is highly interested.</p> <p>MES approved the seminars as one of the Continuing Professional Development courses. MES commented that the seminars were particularly successful. The effectiveness of the technical transfer through the seminars was identified.</p> <p>For further promotion, it will be considered essential for D • Box to obtain related organization's certification and recommendation as the countermeasure against the soft ground. Incidentally, the manual will be updated to expand its applicable to infrastructure categories other than railways.</p>
(2)	<p>Study on a Local Supply Chain of the Construction Materials, Research for the Feasible Business Partners, and Study on Preferable Business Model</p> <p>Feasibility of local production of D • Box was verified in this project. Thus, the future prospects are getting better. Concerning to sales of D • Box in Myanmar, related organization's certification and recommendation are the first priority. The business partners which are able to handle sales and technical guidance shall be sought out after obtaining the certification and the recommendation.</p>
Activity 4: The Countermeasure against the Slope Failure at the Slopes (Initially unplanned activity)	
(1)	<p>Due to the torrential rain, the slope failure was occurred at the slopes of the foundation bank which MR was responsible; thus, D • Box dam was constructed to reinforce the slope. Effectiveness of D • Box dam will be finally verified after the rainy season in 2018. Additional D • Box dam was constructed in February, 2018. It was reported that no slope failure was occurred in that section until the end of August, 2018. Please refer to Image-3 in the Reference.</p>

※1 : Collapse phenomenon: subsidence caused by compressive deformation of the clay led by water absorption

Source: Compiled by the Survey Team

(2) Self-reliant and Continual Activities to be Conducted by Counterpart Organization

MR has been in charge of the maintenance of the railway track constructed with D • Box. MR has periodically checked the site since the hand-over of the site to conduct railway track adjustment and the reinforcement of the slopes as necessary.

4. FUTURE PROSPECTS

(1) Impact and Effect on the Concerned Development Issues through Business

Development of the Product/ Technology in the Surveyed Country

In view of the ground conditions in Myanmar, the ground reinforcement against shortage of the bearing capacity will be certainly required for the infrastructure development such as the embankment for roads, railways, levees, revetments, factories and residences. D • Box can be installed by the workers with simple technical guidance. The heavy equipment is not essential for this construction method. D • Box method is environment friendly. Incidentally, feasibility of D • Box production in Myanmar was verified in this project. Thus, using D • Box method is promising the employment promotion which is one of the important development issues in Myanmar. D • Box can be produced in Myanmar and supplied at reasonable price without facing impacts of foreign currencies. Constructions using D • Box method can be constructed only by the people of Myanmar. Therefore, it was verified that D • Box method could contribute toward future development in Myanmar as the countermeasure against the soft ground.

Furthermore, MR showed its opinion that it wished to adopt D • Box to Yangon-Mandalay line especially for the construction section with the soft ground. We have received approaches from MR for a consultation about detailed location.

(2) Lessons Learned and Recommendation through the Survey

1) Protection against Exposure to the Ultraviolet

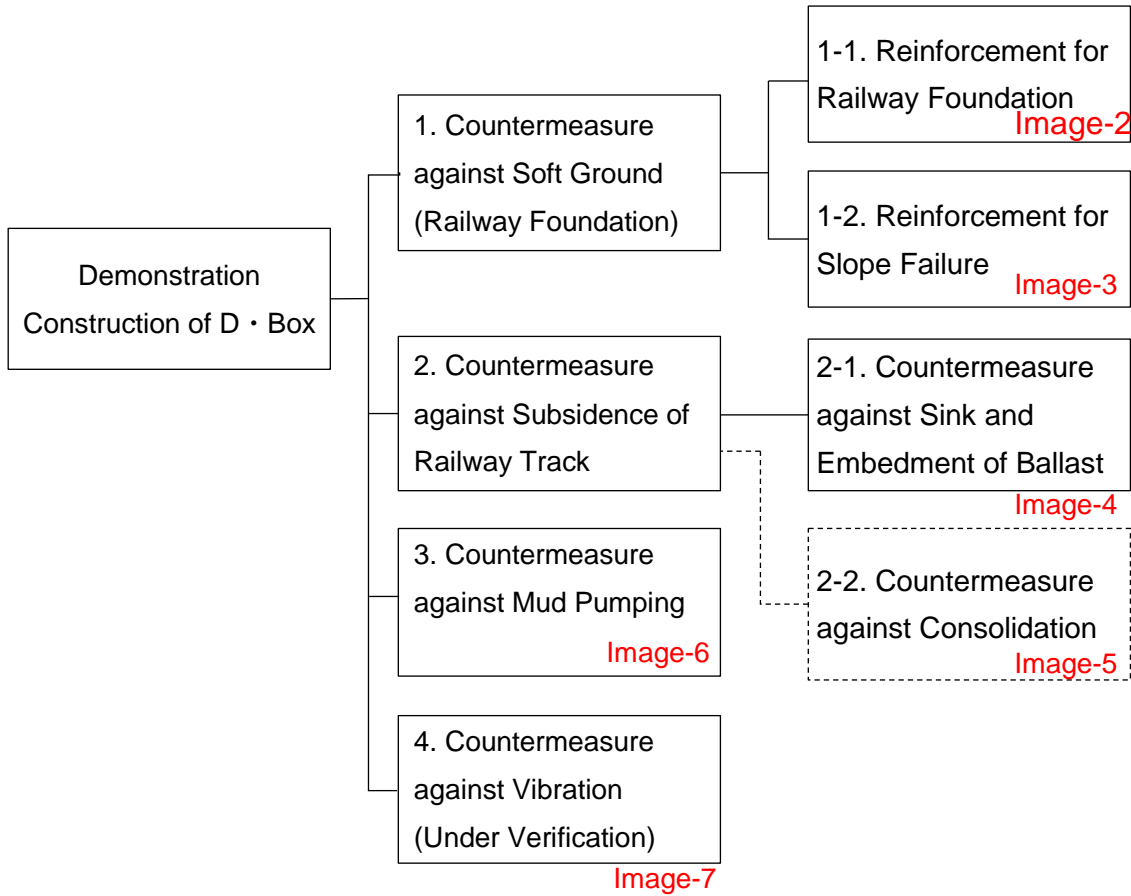
Strength of the ultraviolet rays in Myanmar is several times as strong as that in Japan. Thus, there are concerns over the quality of Myanmar made D • Box when it exposes to the ultra violet rays. The UV exposure test was conducted using Japan made D • Box and Myanmar made D • Box to verify deterioration level in one year. As a result, it was verified that Myanmar made D • Box can have sufficient strength even after one year exposure to the ultraviolet. Though, MR is expected to protect D • Box from exposure to the ultra violet rays.

2) D • Box Installation by Manpower as the Countermeasure in Emergency

D • Box, two bags per meter, can be installed by manpower as the countermeasure in emergency. The construction productivity of D • Box installation by manpower was 4 m/day without the removal work of the rail. The construction expense will be reasonable, \$65/ m, when MR's ballast is used as the filling material of D • Box. D • Box installation will minimize the maintenance work of the railway track in future.

<Reference>

The overview of the demonstration construction at the site is as shown below:



From CH300 to CH220



From CH560 to CH300

Image-1 Condition of the Railway near Chaungphar Bridge (Pictures were taken in August, 2016 Before D · Box Installation)

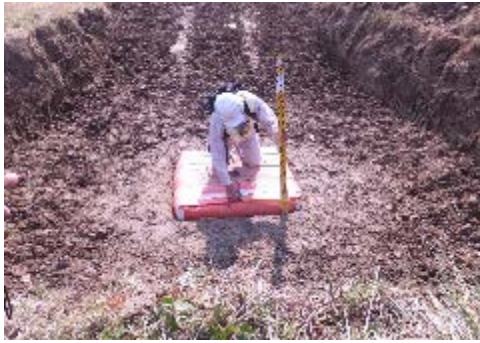


Image-2 Plate Loading Test (The calculation formula for the ultimate bearing capacity was led based on the results of the plate loading test)



Image- 3 Countermeasure against the Slope Failure (by D • Box Dam Method)



Image-4 Subsidence at the Railway Track Caused by the Subsidence of Ballast
 (Subsidence volume was approximately 1 ~ 3 cm as a result of the one year observation)



Image-5 Measurement of the Consolidation Subsidence
 (The original ground was good quality ground. Thus, D • Box's positive effect against the consolidation subsidence was not verified as a result of the one year measurement.)

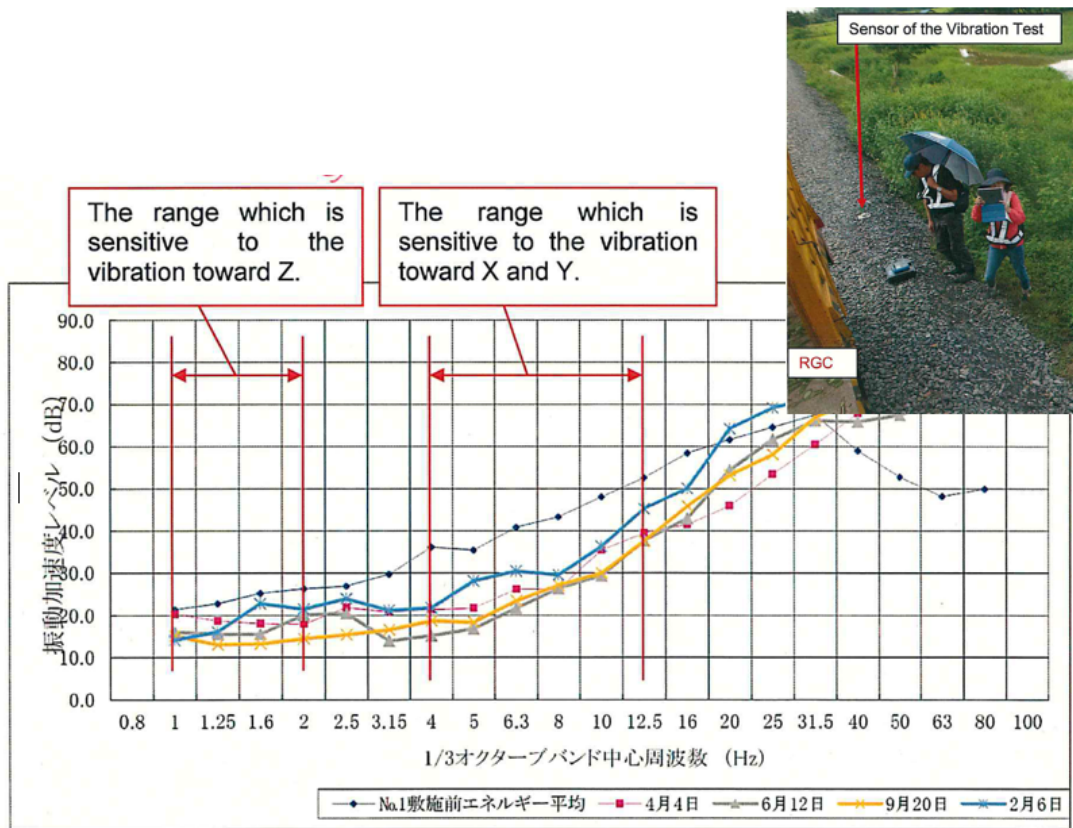


August, 2016

September, 2017

Image-6 Countermeasure against the Mud Pumping

(One year later from D・Box installation, no mud pumping was identified.)



Vertical line: Vibration acceleration level (dB)
Horizontal line: Center frequencies of 1/3 octave bands (Hz)

Y-direction

◆ : Average energy before D-Box Installation (No.1)
■ : Apr. 4, 2017 ▲ : Jun. 12, 2017 ✖ : Sep. 20, 2017 * : Feb. 6, 2018

Image-7 Vibration Measurement







Formwork	Set the D-Box (bag) into the Formwork	After filling	Closing & Lifting
			
<ul style="list-style-type: none"> ● Set the Formwork onto leveled ground. 	<ul style="list-style-type: none"> ● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork. ● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag. ● Level the top of the filling material by hand or by shovel. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Close the closing band not to cause opening. ● The lifting band is doubled structure. Be sure to set hook to doubled lifting band.

Image-8 D • Box Fabrication Work

(Inside material: Sand; Productivity: Japanese D • Box 120 bags/ day, Myanmar D • Box 80 bags/ day)









	
<p>Removal of Railway Track</p>	<p>Rolling and Compaction of Ground</p>
	
<p>D-Box Installation</p>	<p>Temporary Track (Rails)</p>
	
<p>Ballast Filling</p>	<p>Adjustment of Track (Rails) / Tamping (Ballast compaction with tamper)</p>
	
<p>Ballast Compaction by Rammer</p>	<p>Railway Track Inspection</p>

Image-9 D • Box Installation (Productivity: 12 m/ day, Layout: 4 lines of D • Box,
Construction fee: 192,000 MMK/ m)

	
<p>Removal of Sleepers and Excavation</p>	<p>Fabrication of D-Box on Site (inside material: Existing Ballast)</p>
	
<p>Completion of D-Box Installation</p>	<p>Compaction (Manpower)</p>
	
<p>Backfilling of Ballast</p>	<p>Completion (The part framed in red is constructed section by manpower)</p>

Image-10 D • Box Installation by Manpower

(Productivity: 4 m/ day, Layout: 2 lines of D • Box, Construction fee: 88,000 MMK/ m)